

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

54/87

وزارة التعليم و البحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement et de la Recherche Scientifique

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
BIBLIOTHEQUE — المكتبة  
Ecole Nationale Polytechnique

DEPARTEMENT GENIE MECANIQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

**CONTROLE AUTOMATIQUE A  
L'AIDE DES SYSTEMES  
PNEUMATIQUES**

Proposé par :

M. BOUAZIZ

Etudié par :

M. HECINI

Dirigé par :

M. BOUAZIZ

16 PLANCHES

PROMOTION JUIN 1987

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم و البحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement et de la Recherche Scientifique

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
المكتبة — المكتبة  
BIBLIOTHEQUE — المكتبة  
Ecole Nationale Polytechnique

DEPARTEMENT GENIE MECANIQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

**CONTROLE AUTOMATIQUE A  
L'AIDE DES SYSTEMES  
PNEUMATIQUES**

Proposé par :

M. BOUAZIZ

Etudié par :

M. HECINI

Dirigé par :

M. BOUAZIZ

PROMOTION JUIN 1987

وأنزلنا الحديد فيه بأس مثداً  
ومنافع للناس وليعلم الله من ينصره  
ورسوله بالغيب إن الله فؤي عزيز

قرآن كريم



# DEDICACES

- à la mémoire de mon père
- à ma mère
- à mon frère et ma sœur
- à tous ceux qui me sont chers

je dedie ce modeste  
travail

M. HECINI





# REMERCIEMENTS

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
BIBLIOTHEQUE — المكتبة  
Ecole Nationale Polytechnique

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude et mes vifs remerciements à monsieur Mohamed Bouaziz qui a l'aimable sollicitation de me suivre avec une bonne attention Le long de cet étude , ainsi que tous les enseignants qui ont contribué à ma formation.

Que tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin à la réalisation de ce projet trouvent ici ma sincère gratitude

M. HECINI



Ministère de l'enseignement supérieur

وزارة التعليم العالي

Ecole Nationale Polytechnique



Département de Génie Mécanique

مدرسة الوطنية  
لآثار الهندسة الميكانيكية

Promoteur: BOUAZIZ Mohamed

موجه: محمد بوعزيز

Eleve ingénieur: HECINI Mabrouk

طالب المهندس: مبروك حسيني

الموضوع: المراقبة الآلية بالأجهزة الهوائية

ملخص: يهدف هذا المشروع الى دراسة وانجاز جهاز مراقبة هوائي

آلي يمكنه مراقبة قطر الاعمدة الدائرية على آلة تصحيح.

ويستعمل هذا الجهاز آلة الاطاميك كآلة هوائية ومنتقط

يعمل بالحقن في رأس القياس.

Sujet: contrôle automatique à l'aide des systèmes pneumatiques

Resumé: Le but de ce projet consiste à étudier et réaliser un système de contrôle pneumatique pouvant contrôler automatiquement le diamètre des arbres sur rectifieuse. Il utilise l'Etamic comme appareil pneumatique et un capteur à injection à la tête de mesure.

Subject: Automatic control with a pneumatic systems

Abstract: The purpose of this project is study and realize a pneumatic system of automatic control who can control the diameter of rood in the machine-tool for rectifying. It use the Etamic as a pneumatic apparatus and the injection capter in the front of mesure



## ABREVIATIONS et SYMBOLES

symboles	Définitions
a	largeur
b	Longueur , déplacement de la membrane
c	circonférence
d	diametre
D	diametre
e	basse du Logarithme neperien, exentricité.
EI	écart inferieur
ES	écart superieur
F	force
h	pression relative de comparaison ou de mesure
H	pression relative de travail
$K_z$	sensibilité
L	longueur , distance
P	pression absolu
$P_{atm}$	pression atmospherique
$q_m$	debit massique
S	section
T	Temperature
V	vitesse
z	cote , épaisseur
$\Delta$	variation ou écart
$\alpha$	angle , rayonnement radioactif



Symbole

Définitions

$\beta$

angle, rayonnement radioactif

$\gamma$

rayonnement radioactif

$\rho$

Masse volumique

$\varepsilon$

erreur relative, rapport des masses volumiques

$\delta_2$

erreur de non linearité

$\delta_d$

sur épaisseur sur le diamètre.

# SOMMAIRE



I. Introduction et Généralités	1
- Objectif du projet	4
II. Procédé pneumatique de contrôle	5
II.1. principe	5
II.2. Avantages et inconvénients du procédé pneumatique	6
II.3. Equation fondamentale de la pneumatique	6
II.4. Application de l'équation fondamentale	9
II.5. Condition de la mesure pneumatique	10
II.6. Paramètres caractérisants un système pneumatique	11
II.7. Les différents types de capteurs	14
II.8. Les différents types d'appareils pneumatiques	23
II.9. Etude du système Etamic-capteur à injection	33
III. Description technique	38
IV. Mode opératoire	41
V. Contrôle automatique	44
VI. Calculs relatifs au système de contrôle	52
VI.1. Calcul pneumatique	52
VI.2. Calcul de ressorts	53
VII. Analyse des erreurs	61
VII.1. Erreur de non linéarité	61
VII.2. Erreur due à la forme de la pièce	61
VII.3. Erreur de positionnement	63
VII.4. Erreur de pénétration	67
VIII. Conclusion	68



# CH.1 INTRODUCTION et GENERALITES

L'homme utilise de plus en plus des appareils compliqués effectuant des tâches délicates, ce qui exige une grande précision dans la fabrication de ces appareils.

Comme il est impossible de réaliser exactement la cote désirée d'une pièce du fait que la vraie valeur de cette cote ne peut être mesurée sans être entachée d'erreurs de mesure. D'où la nécessité de définir l'intervalle de tolérance pour affronter ce problème.

L'intervalle de tolérance est un écart défini avant la fabrication et dont la valeur est liée directement à la fonction de la cote à réaliser.

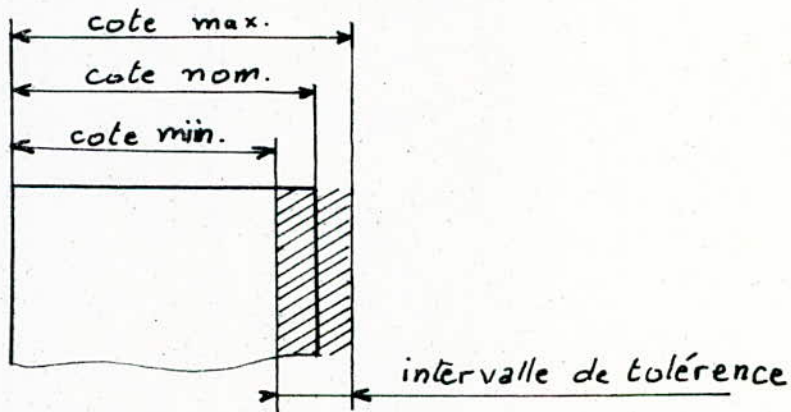


fig 1.1

L'intervalle de tolérance peut prendre des positions quelconques par rapport à la ligne de la cote nominale.

Lorsque l'intervalle de tolérance encadre l'erreur de fabrication on dira que la cote est acceptable, dans le cas contraire elle est refusée; en fait, on effectue un



contrôle sur la cote pour se renseigner sur la validité des techniques de fabrication utilisées.

On distingue deux formes de contrôle :

- Le contrôle actif, appliqué aux pièces au cours d'usinage pour assurer leurs élaboration dans les tolérances demandées.
- Le contrôle passif; appliqué aux pièces finies pour s'assurer de leurs validité.

Le contrôle peut être aussi subjectif, c'est à dire basé sur les perceptions sensorielles, sans utilisation d'instruments; ou objectif, c'est à dire à l'aide des moyens de contrôle; pour la fabrication mécanique seul le contrôle objectif peut être retenu; on l'appelle "contrôle mesurant"

De plus un contrôle doit satisfaire aux conditions suivantes

- qualité; une bonne précision géométrique.
- quantité; une production totale.
- délais; un temps minimisé.
- prix de revient; économique
- condition humaine; sécurité de l'opérateur.

Parmi les procédés de contrôle utilisés actuellement on distingue :

1. procédé mécanique : c'est un procédé très ancien utilisant les conversions par leviers, engrenages, crémaillère...
2. procédé électronique : il est basé sur la conversion

d'un signal mécanique en un signal électrique tel que l'intensité de courant, tension, modulation, changement de l'induction...etc ;

3 - procédé optique : il est basé sur la réflexion, l'interférence ou l'absorption de la lumière.

4 - procédé pneumatique : il consiste à transformer directement ou indirectement un écart de dimension en différence de pression d'air mesurable sur un indicateur étalonné.

5 - procédés utilisant un processus radioactif : il utilise les isotopes radioactifs comme sources de rayonnement  $\alpha$ ,  $\beta$  et  $\gamma$  ; ainsi le changement de la dimension converti l'intensité du rayonnement admis dans la chambre d'ionisation.

Depuis le XIX<sup>e</sup> siècle les recherches dans le domaine des machines-outils se sont concentrées à trouver des liaisons entre les procédés de contrôle et les commandes des machines-outils afin de libérer l'ouvrier des tensions d'esprit nécessaires à la répétition de démarches intellectuelles sans intérêt ; c'est que l'on appelle " le contrôle automatique " qui est devenu une nécessité depuis que la quantité des besoins a augmentée et la qualité des produits est devenue difficile à réaliser.



## OBJECTIF DU PROJET

Le but de ce projet consiste à étudier un système de contrôle pneumatique pouvant contrôler le diamètre des arbres au cours de la rectification et pouvant arrêter automatiquement l'usinage en reculant le chariot porte-meule dès que la cote désirée est réalisée.

Ce système peut travailler sans contact ou avec contact.

Il utilise l'Etamic comme appareil pneumatique et un capteur à injection à la tête de mesure.

Une réalisation et application sur une rectifieuse cylindrique universelle du type U 700 SA se trouvant dans l'atelier du département de génie mécanique suivra cet étude afin de vérifier la validité du système étudié.



## CH. 2 PROCÉDE PNEUMATIQUE DE CONTRÔLE

## II. 1. Principe

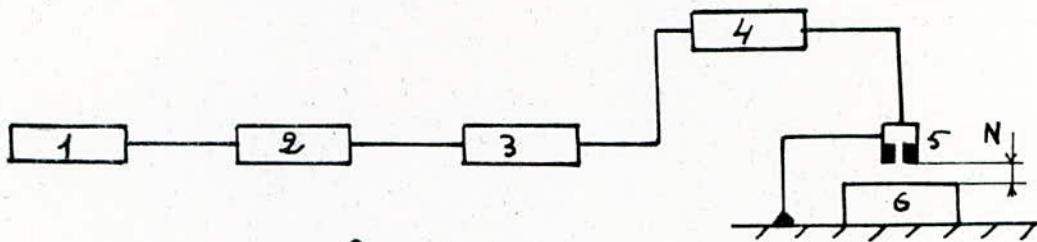


fig 2.1

1. source d'air comprimé (compresseur)
2. filtre
3. détendeur - stabilisateur
4. appareil pneumatique (ou micromesureur)
5. Capteur (ou palpeur)
6. pièce .

De l'air, sous pression constante  $H$  traverse un gicleur de tête (d'entrée) (1) puis un gicleur de sortie (2). La pression  $h$  qui règne entre ces deux gicleurs s'établit en fonction des variations de débit à la sortie. Dans l'exemple

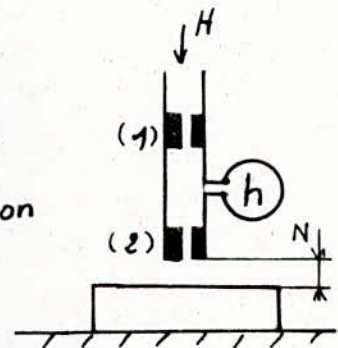


fig 2.2

ci-après, elle sera fonction de l'épaisseur de la lame d'air  $z$ ; donc de la cote à mesurer, la pièce jouant le rôle d'obturateur.

- pour notre projet :

4. Etamic

5. capteur à injection

6. arbre (mesurage de côté extérieure)

Les principaux facteurs pour un tel système sont :

- propriétés du gaz (air) comprimé en amont du gicleur
- propriétés du gaz (air) détendu en aval du gicleur
- le diamètre du plus petit canal d'écoulement.

## II.2 Avantages et inconvénients du procédé pneumatique

a - Avantages :

- Gamme importante de types d'appareils
- Régime réglable
- robustesse avec légèreté
- sécurité d'emploi
- simplicité d'entretien

b - inconvénients

- énergie coûteuse comparée avec l'énergie électrique
- perte de vitesse sous charge
- faible rayon d'action
- rigidité des tuyaux flexibles
- Givrage provenant de la détente de l'air comprimé
- emploi d'un système de refroidissement du compresseur

## II.3 Equation fondamentale de la pneumatique

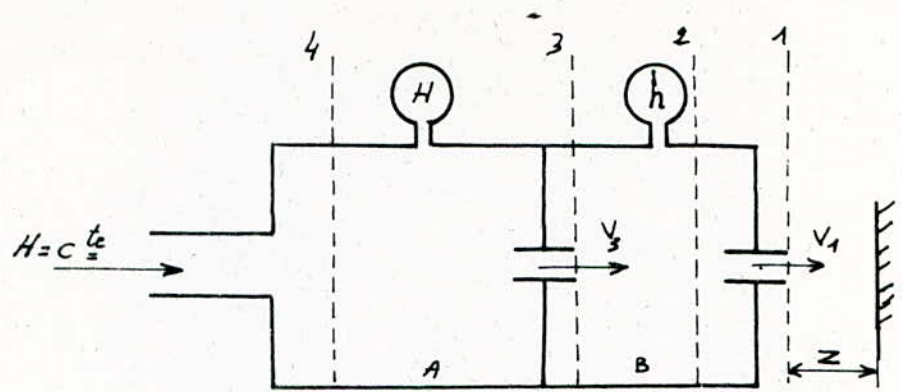


fig 2.3.

Pour pouvoir adopter une équation simple et applicable on est amené à poser quelques hypothèses simplificatifs

- la distance  $z$  entre le gicleur de mesure et la pièce est au plus égale à  $d_1/4$  ( $d_1$  étant le diamètre du gicleur de mesure) ce qui nous permettra d'admettre que l'écoulement est incompressible.

- Les sections  $S_1$  et  $S_3$  sont de même ordre de grandeur, et, sont très faibles devant les sections  $S_2$  et  $S_4$  qui elles sont aussi de même ordre de grandeur.

L'équation de Bernoulli pour un fluide incompressible appliquée entre les sections 1 et 2 donne :

$$h + \frac{v_h^2}{2g} = h_{sortie} + \frac{v_1^2}{2g} \quad (2.1)$$

- $h$  : pression statique
- $\frac{v^2}{2g}$  : pression dynamique
- $h + \frac{v^2}{2g}$  : pression totale.

La vitesse  $v_h$  dans la chambre de mesure est



pratiquement nulle.

La pression statique  $h_{\text{sortie}}$  est nulle.

La relation (2.1) devient :

$$h = \frac{v_1^2}{2g} \quad \Rightarrow \quad v_1 = \sqrt{2gh} \quad (2.2)$$

L'équation de Bernoulli pour un fluide incompressible appliquée entre les sections 3 et 4 donne :

$$H + \frac{v_H^2}{2g} = h + \frac{v_3^2}{2g} \quad (2.3)$$

de même  $v_H = 0$

L'équation (2.3) devient

$$H = h + \frac{v_3^2}{2g} \quad \Rightarrow \quad v_3 = \sqrt{2g(H-h)} \quad (2.4)$$

L'équation de continuité appliquée entre les sections 1 et 3 s'écrit :

$$S_1 v_1 = S_3 v_3$$

ou bien

$$\frac{S_1}{S_3} = \frac{v_3}{v_1} = \sqrt{\frac{2g(H-h)}{2gh}} = \sqrt{\frac{H-h}{h}}$$

on a finalement

$$h = \frac{H}{1 + \left(\frac{S_1}{S_3}\right)^2} \quad (2.5)$$

c'est l'équation fondamentale des systèmes pneumatiques représentés par la figure (2.3)

Si la pression d'alimentation  $H$  reste constante et si on conserve le même gicleur d'entrée ( $S_3 = c^te$ ) alors

La pression de mesure  $h$  dépendra directement de la section du gicleur de sortie  $s_1$ . Donc :

$$h = f(s_1)$$

### II.4 Application de l'équation fondamentale

Du fait que l'élaboration des orifices cylindriques est facile et plus précise on adopte une section circulaire à  $S_3$

$$S_3 = \pi \frac{d_3^2}{4}$$

a. Mesure d'alésage

$$S_2 = S_3 = \pi \frac{d_2^2}{4}$$

$$S_1 = \pi \frac{d_1^2}{4} \quad (\text{section à mesurer})$$

donc

$$h = \frac{H}{1 + \left(\frac{d_1}{d_2}\right)^4} \quad (2.6)$$

si  $d_2$  est constant alors

$$h = f(d_1)$$

b. Mesure à l'aide d'un gicleur cylindrique

$$s_1 = c.z = \pi d_1 z$$

donc

$$h = \frac{H}{1 + \left(\frac{4 d_1 z}{d_2^2}\right)^2} \quad (2.7)$$

si  $d_1$  et  $d_2$  sont constants alors

$$h = f(z)$$

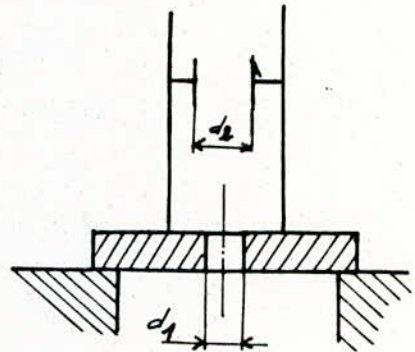


fig 2.4.

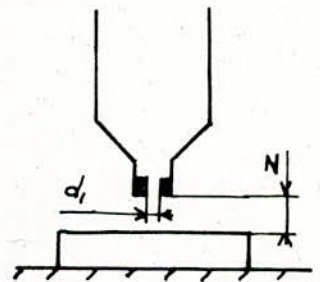


fig 2.5



c. Mesure à l'aide d'un gicleur rectangulaire

$$S_1 = 2(a + b)z$$

donc

$$h = \frac{H}{1 + 6,484 \left( \frac{a+b}{d^2} z \right)^2} \quad (2.8)$$

si  $a$ ,  $b$  et  $d$  sont constants  
alors  $h$  est fonction de  $z$

$$h = f(z)$$

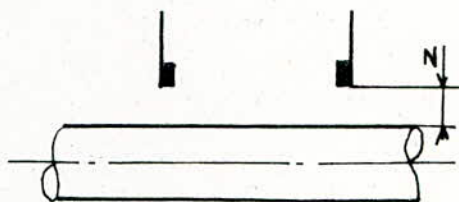
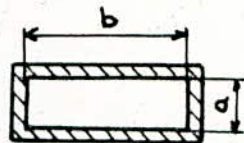


fig 2.6

II.5 Condition de la mesure pneumatique.

Dans le principe de la mesure pneumatique il a été mentionné que la pression de mesure  $h$  est fonction de la plus faible section de passage; alors pour que cette pression soit en fonction de la grandeur à mesurer ( $z$ ) il faut que la surface latérale ( $c.z$ ) entre le gicleur de mesure et la pièce présente la section minimale d'écoulement; cette condition est traduite par la relation

$$S_{lat} < S_{gicleur} \quad (2.9)$$

ou bien

$$c.z < S_{gicleur}$$

$$\pi d z < \frac{\pi d^2}{4}$$

$$\text{donc} \quad z < d/4$$

$$\text{soit} \quad z_{max} = 0,25 d \quad (2.10)$$

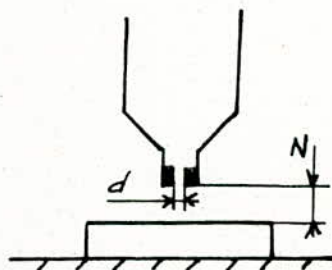


fig 2.7

pratiquement on prend [bibliographie (1)]

$$z = (0,6 \div 0,7) z_{max} \quad (2.11)$$

### II.6 Parametres caractérisants un système pneumatique

Les parametres fondamentaux caractérisants un système pneumatique sont :

- le diamètre  $d_2$  du gicleur d'entrée
- le diamètre  $d_1$  du gicleur de sortie
- la pression de travail  $H$
- la sensibilité  $K_z$  (ou facteur d'amplification)
- le diapason de mesure  $\Delta z$

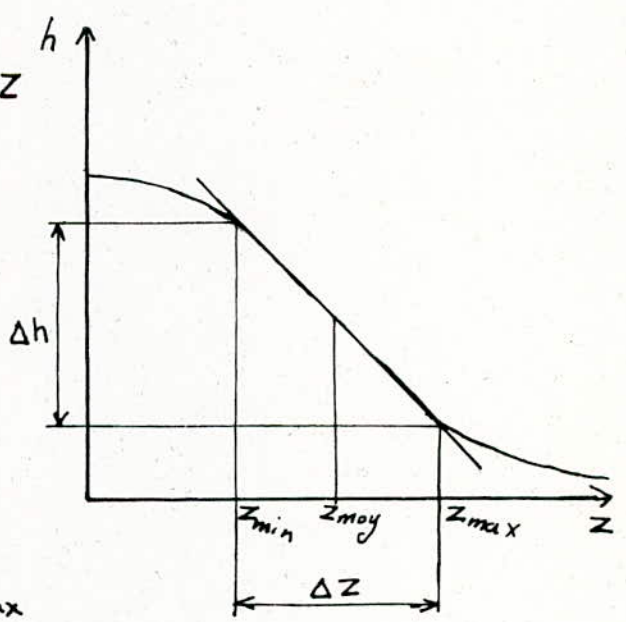
La détermination de ces parametres nécessite l'application de l'équation fondamentale qui s'écrit dans ce cas :

$$h = \frac{H}{1 + \left(\frac{S_1}{S_2}\right)^2} \quad (2.12)$$

- le diapason de mesure  $\Delta z$  est un intervalle pris sur l'axe des  $z$  et dans lequel la courbe représentative de  $h = f(z)$  est considérée lineaire.

Les limites de cet intervalle sont désignée par  $z_{min}$  et  $z_{max}$

et le milieu par  $z_{moy} = \frac{z_{max} + z_{min}}{2}$  (2.13) fig 2.8





- La sensibilité est définie comme étant le quotient de l'accroissement de la variation observée (indication) sur l'accroissement de la grandeur à mesurer, ou bien c'est la pente de la caractéristique  $h = f(z)$  qui est maximale dans le diapason de mesure

$$K_z = \frac{dh}{dz} \quad (2.14)$$

- Pour déterminer les diamètres des gicleurs on pose

$x = \frac{s_1}{s_2}$  ; donc la relation (2.12) devient

$$h = \frac{H}{1+x^2} \quad (2.15)$$

on trouve alors un intervalle  $\Delta x = x_{\max} - x_{\min}$  équivalent au diapason de mesure  $\Delta z$

pour un gicleur à section circulaire

$$d_2 = \pi \frac{d_2^2}{4} \quad \text{et} \quad d_1 = \pi d_1 z$$

$$\text{d'où} \quad x = \frac{4d_1 z}{d_2^2} \quad \Rightarrow \quad z = \frac{d_2^2}{4d_1} x$$

$$\Delta z = z_{\max} - z_{\min} = \frac{d_2^2}{4d_1} (x_{\max} - x_{\min}) \quad (2.16)$$

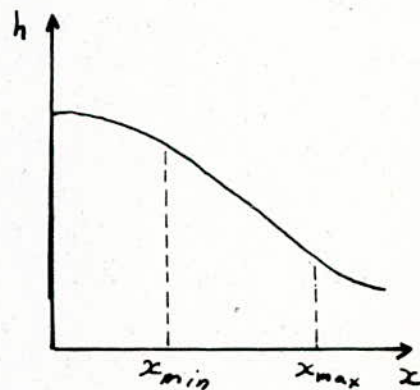
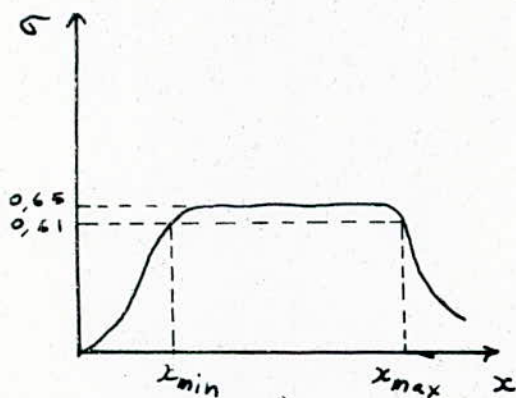


fig 2.9

La caractéristique représentée par  $h = f(x)$  est approximativement linéaire dans l'intervalle :

$$\begin{aligned} x_{\max} &= 0,8 \\ x_{\min} &= 0,4 \end{aligned} \quad (2.17)$$

donc en remplaçant dans (2.16) on trouve

$$\Delta Z = 0,1 \frac{d_2^2}{d_1} \quad (2.18)$$

L'intervalle  $\Delta Z$  est déterminé en fonction de la tolérance des pièces à contrôler ; le plus souvent il est pris

$$\Delta Z = (1,2 \div 1,3) IT \quad (2.19)$$

$IT$  : étant l'intervalle de tolérance

Dans le cas des capteurs ordinaires le diamètre  $d_2$  fait partie de l'appareil pneumatique et dans le cas d'un capteur à injection il doit être fixé expérimentalement ; donc le diamètre  $d_1$  peut être déterminé par la formule :

$$d_1 = 0,1 \frac{d_2^2}{\Delta Z} \quad (2.20)$$

La sensibilité  $K_2$  peut s'écrire sous la forme :

$$K_2 = \frac{dh}{dx} \cdot \frac{dx}{dz}$$

donc

$$K_2 = - \frac{2x}{(1+x^2)^2} H \cdot \frac{4d_1}{d_2^2} \quad (2.21)$$

$$\text{posons } \sigma = \frac{2x}{(1+x^2)^2} \quad (2.22)$$

Dans l'intervalle  $\Delta x$ ,  $\sigma$  prend deux valeurs extrêmes

$$\sigma_{\max} = 0,65$$

$$\sigma_{\min} = 0,61$$



on considère la valeur moyenne de  $\sigma$

$$\sigma_{\text{moy}} = 0,63 \quad , \quad \text{d'où}$$

$$K_2 = -2,52 H \frac{d_1}{d_2^2} \quad (\text{Pa/mm}) \quad (2.24)$$

Cette expression montre l'influence de  $H$ ,  $d_1$  et  $d_2$  sur la sensibilité  $K_2$ ; elle est proportionnelle à la pression d'alimentation  $H$  et au diamètre du gicleur de sortie, mais inversement proportionnelle au carré du diamètre du gicleur d'entrée.

Le signe (-) devant l'expression signifie que si  $z$  augmente alors la pression de mesure  $h$  diminue.

## II.7 Les différents types de capteurs

### II.7.1 Les capteurs sans contact

#### a. mesure directe d'une épaisseur

soient

$L$  : épaisseur de la pièce

$L_0$  : épaisseur de la cale étalon

$z$  : la distance entre la pièce et le gicleur

$z_0$  : la distance entre la cale étalon et le gicleur

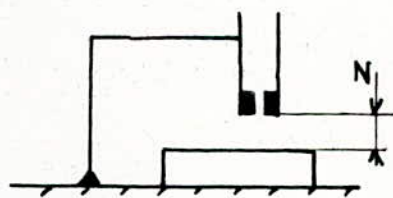


fig 2.10

on a  $z_0 = L' - L_0$

$$z = L' - L$$

donc  $\delta z = z - z_0 = L_0 - L$

à l'aide d'un micromètre pneumatique on peut connaître la différence  $\delta z$  et par conséquent la cote  $L$  connaissant  $L_0$ .

b. Mesure des petits alésages:

L'alésage à mesurer est utilisé comme gicteur de sortie

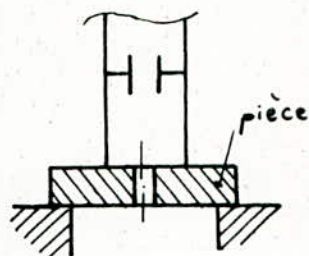


fig 2.11

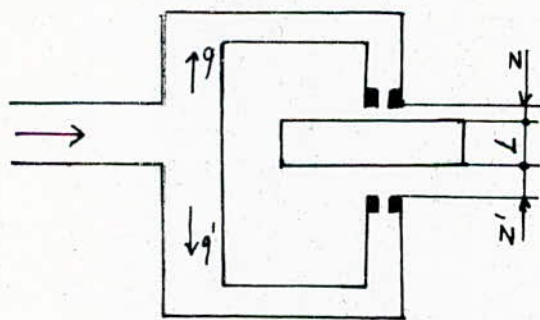
c. Mesure par deux orifices en parallèle

Les gicteurs de mesure sont pris identiques soient :

$d$  : distance entre les deux gicteurs

$L$  : épaisseur de la pièce à contrôler

$L_0$  : épaisseur de la cale étalon.



mesure extérieure

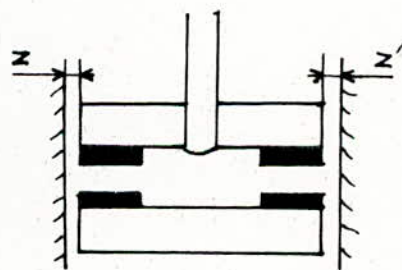
$$L_0 = d - (z_0 + z'_0)$$

$$L = d - (z + z')$$

donc  $L_0 - L = (z + z') - (z_0 + z'_0)$

avec  $q = f(z)$  et  $q' = f'(z')$

on a  $q + q' = f(z) + f'(z')$



mesure intérieure

fig 2.12

si le débit d'air est une fonction linéaire de  $z$   
 alors  $q = az + b \Rightarrow q + q' = a(z+z') + 2b$  (2.26)  
 ainsi l'indicateur de l'appareil est indépendant de la  
 position de la pièce; donc on peut s'affranchir de  
 toute appui mécanique.

### II.7.2 Capteurs à contact

Au lieu de faire souffler directement de l'air sur la  
 surface de la pièce on intercale entre cette surface et le  
 gicleur de mesure une tige qui touche la surface de la  
 pièce par une petite sphère, et à sa partie supérieure  
 présente contre le gicleur une surface plane (a), conique (b)  
 ou parabolique (c).

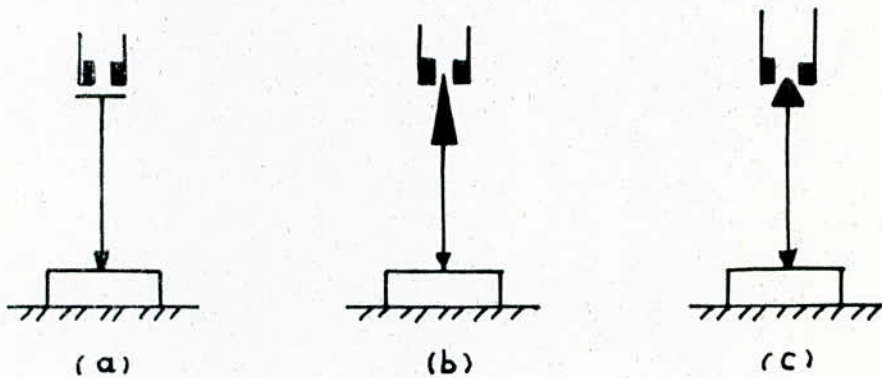


fig 2.13

### II.7.3 Autres types de capteurs

#### a. capteur différentiel

Il est utilisé pour les mesures de grande précision  
 car il augmente la sensibilité du système de mesure.



on a

$$z_1 + z_2 = c \text{ (cste)} \quad \text{2.27}$$

$$h = h_1 - h_2 \quad \text{2.28}$$

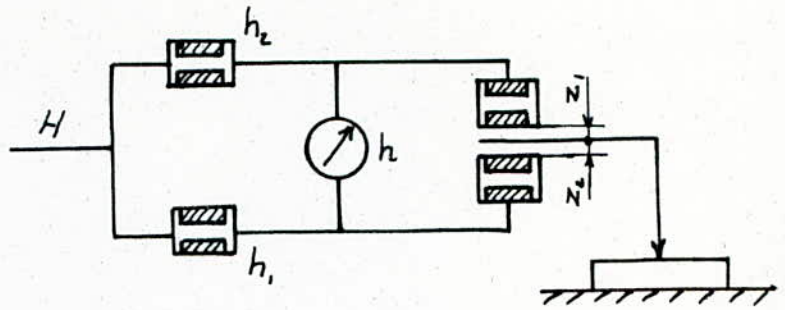


fig 2.14

si  $z_1$  diminue et  $z_2$  augmente de  $dz$  alors  $h_1$  augmente de  $dh$  par contre  $h_2$  diminue de la même valeur

$$h_1 \text{ devient } h'_1 = h_1 + dh$$

$$h_2 \text{ devient } h'_2 = h_2 - dh$$

$$h \text{ devient } h' = h'_1 - h'_2 = h_1 + dh - h_2 + dh$$

$$h' = h + 2dh \quad (2.29)$$

On remarque bien que pour une variation de  $dz$  la pression de mesure  $h$  varie de  $2dh$ ; donc la sensibilité du système a doublé

### b. Capteur à injection

Vu que ce type de capteur occupe une partie essentielle dans notre projet, son étude sera détaillée.

Les systèmes de contrôle différentiels utilisant les capteurs ordinaires sont limités par deux caractéristiques compatibles, à savoir, la sensibilité et le diapason de mesure; l'augmentation de l'un entraîne la diminution de l'autre.

Les deux chercheurs soviétiques I. Pédé et B.N. Markov ont défini un nouveau type de capteur, dit "capteur

à injection", qui permet d'augmenter le diapason de mesure tout en gardant la sensibilité constante.

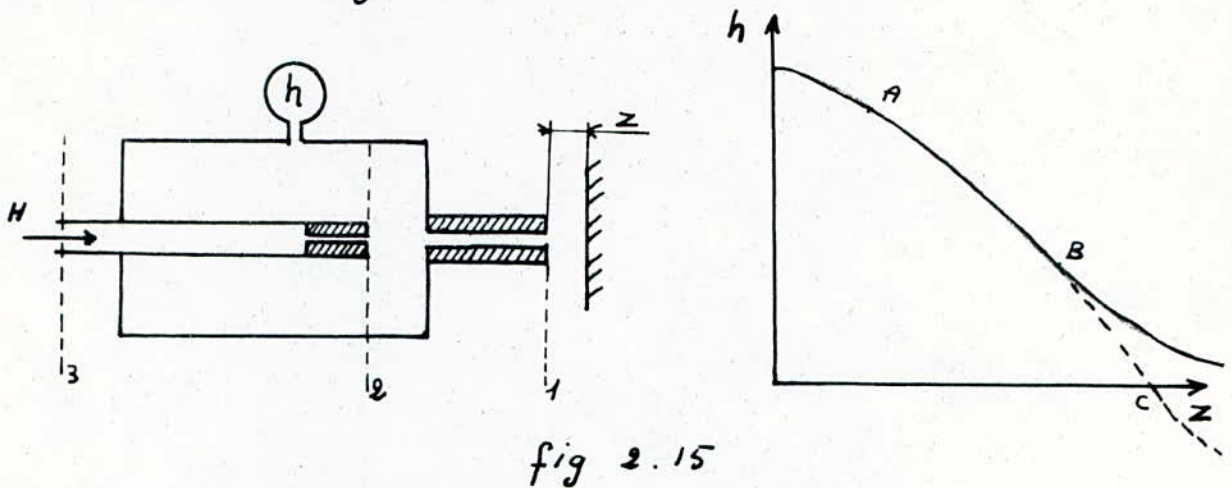


fig 2.15

pour déterminer la caractéristique  $h = f(z)$  des systèmes utilisant ce type de capteur on admet certains hypothèses simplificatifs :

a) on néglige la force de frottement de l'air entre les sections 1 et 2 puisqu'elle présente un grandeur de deuxième ordre par rapport aux forces provoquées par l'écoulement de l'air.

b) On suppose que le palpeur est régulièrement dimensionné ce qui nous permet de négliger la force de courant sur la face d'entrée du gicleur de mesure.

Le théorème de la quantité de mouvement nous donne

$$q_{m2} v_2 - (q_{m2} - q_{m1}) v_1 = (P_{atm} - P_2) S_1 \quad (2.30)$$

$q_{m2}$  : est le débit d'air à travers le gicleur d'entrée

$q_{m1}$  : est le débit d'air pris de la chambre de mesure

$v_1$  et  $v_2$  sont les vitesses d'écoulement respectivement dans les sections 1 et 2

$$P_h = h + P_{atm} \quad (P_{atm} \text{ étant la pression atmosphérique})$$

quand le régime est stable on a  $q_{m1} = 0$

donc la relation (2.30) devient

$$q_{m2} (v_2 - v_1) = -h s_1 \quad (2.31)$$

L'équation de Bernoulli appliquée entre les sections 2 et 3 donne

$$P_3 + \frac{\rho_3 v_3^2}{2} = P_2 + \frac{\rho_2 v_2^2}{2} \quad 2.32$$

$\rho_2, \rho_3$  étant les masses volumiques.

$$P_2 = h + P_{atm}$$

$$P_3 = H + P_{atm}$$

En adoptant une section  $s_2$  très faible devant  $s_3$ , la vitesse  $v_3$  sera négligeable devant  $v_1$ , d'où

$$v_2 = \sqrt{\frac{2(H-h)}{\rho_2}} \quad (2.33)$$

Le théorème de la continuité nous donne:

$$q_{m2} = \rho_1 s_1 v_1 = \rho_2 s_2 v_2 \quad (2.34)$$

En résolvant les équations (2.31), (2.33) et 2.34

par rapport à  $h$  on trouve:

$$h = \frac{2H \left( \frac{s_1}{s_2} - \varepsilon \right)}{2 \left( \frac{s_1}{s_2} - \varepsilon \right) - \left( \frac{s_1}{s_2} \right)^2} \quad (2.35)$$

avec  $\varepsilon = \frac{\rho_2}{\rho_1}$



Pour déterminer le rapport des densités  $\varepsilon$ , les deux soviétiques Pédé et Markov, en se basant sur des expériences ont proposé des formules empiriques donnant  $\varepsilon$  en fonction du rapport des sections  $\frac{S_1}{S_2}$  et  $H$ , et cela pour des pressions d'alimentation  $H$  bien déterminées à savoir 0,2, 0,15 et 0,1 MPa.

La formule générale est

$$\varepsilon_H = 1 + e^{-\frac{1}{K(\frac{S_1}{S_2})^2}} \quad (2.36)$$

où

$$K = 10H + 1 \quad (H \text{ exprimée en MPa})$$

Il est évident que cette formule expérimentale dépend des conditions de l'expérience et du matériel utilisé alors, une autre formule empirique a été aussi proposée par monsieur Bouaziz M. basée sur des expériences faites dans notre atelier et utilisant des capteurs à injection fabriqués avec les moyens disponibles; donc c'est la formule la plus valable pour notre projet.

Cette formule s'écrit

$$\varepsilon(x) = e^{[K(x^3 - ax^2 + cx)]^P}$$

tel que  $x = \frac{S_1}{S_2}$

Les valeurs de  $K$ ,  $a$ ,  $c$  et  $P$  sont définies comme suit

$d_1/d_2$	1,33	1,50	1,66
$K$	0,075	0,085	0,095

Tab. 2.1

$d_1$ (mm)	1,5	2,0	2,5
a	3,75	2,5	$2,2 \div 2,4$
c	7	3,75	$3 \div 2,5$
P	0,4	0,4	0,2

Tab. 2.2

Pour  $d_1 = 2,5$  on choisira les valeurs de a et c respectivement la plus faible et la plus forte pour la valeur de  $d_2$  la plus petite possible ; et quand  $d_2$  augmente on admettra que a augmente et c diminue

Cette formule de  $z$  n'est valable que pour la pression de travail H comprise entre 0,15 et 0,2 MPa (1,5 à 2 bars)

[ bibliographie (1) ]

En remplaçant  $s_1 = \pi d_1 z$  dans l'expression (2.35) on abouti à l'expression de la caractéristique  $h = f(z)$

qui est illustrée par la figure (2.15)

La ligne continue correspond à l'utilisation d'un gicleur ordinaire ; le diapason de travail est compris entre A et B . Un gicleur pneumatique à injection avec les mêmes paramètres  $d_1$ ,  $d_2$  et H possède une caractéristique représentée par la ligne 1 dans laquelle le diapason de travail continue jusqu'au point c .

Donc avec ce type de capteur le diapason de mesure a augmenté ce qui nous permet de contrôler les pièces



ayants un surépaisseur plus grand à celui permit en utilisant les capteurs ordinaires.

En remplaçant  $x = \frac{s_1}{s_2}$  dans l'expression 2.35 on trouve

$$h = \frac{2H(x-\varepsilon)}{2(x-\varepsilon)-x^2} \quad (2.38)$$

L'intervalle  $\Delta x = x_{\max} - x_{\min}$  est équivalent au diapason de mesure  $\Delta z$  où la caractéristique est pratiquement linéaire

$$x_{\min} = \frac{4d_1}{d_2^2} z_{\min} = 0,5$$

$$x_{\max} = \frac{4d_1}{d_2^2} z_{\max} = 1,9$$

alors

$$\Delta z = z_{\max} - z_{\min}$$

$$\Delta z = 0,35 \frac{d_2^2}{d_1} \quad 2.39$$

d'où

$$d_2 = \sqrt{\frac{\Delta z \cdot d_1}{0,35}} \quad 2.40$$

La sensibilité  $K_z$  est donnée par

$$K_z = \frac{dh}{dz} = \frac{dh}{dx} \cdot \frac{dx}{dz}$$

donc

$$K_z = \frac{8H\left(\frac{s_1}{s_2} - \varepsilon\right)}{2\left[\left(\frac{s_1}{s_2} - \varepsilon\right) - \left(\frac{s_1}{s_2}\right)^2\right]^2} \cdot \frac{d_1}{d_2^2} \quad 2.41$$

des formules empiriques sont établies pour déterminer les longueurs caractérisants le capteur à injection afin de pouvoir négliger la force du courant sur la face d'entrée du gicteur de mesure [bibliographie (1)]

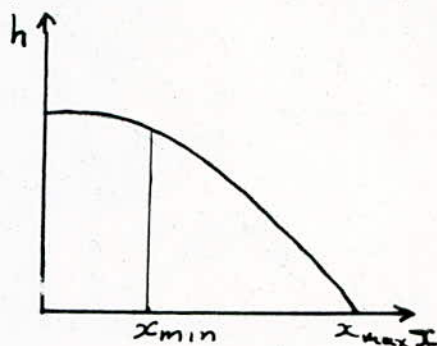


fig 2.16



$$e_2 \leq \frac{d_1 - d_2}{0,63}$$

2.43

$$e_1 \geq 13,5 \frac{d_2^4}{d_1} - 1,5 d_1$$

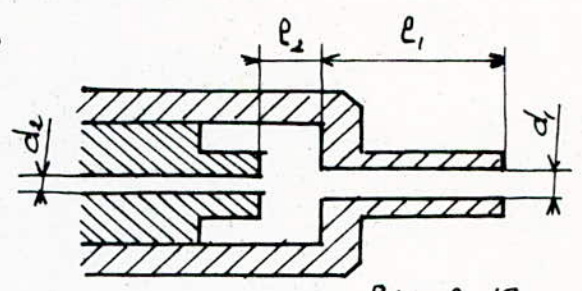


fig 2.17

### II.8 Les différents types d'appareils pneumatiques (ou micromesureurs)

#### II.8.1 Appareils debimétriques : fig 2.18

Ces appareils sont basés sur le principe du flotteur; la position du flotteur (1) dans le verre conique est fonction du débit d'air y s'écoulant et qui sort par un gicleur de mesure (2) placé à une distance \$z\$ par rapport à la pièce à contrôler (3). La lecture de la hauteur caractérisant la position du flotteur sur une règle graduée linéairement permet de connaître \$z\$ du fait que le débit d'air est en fonction de \$z\$.

#### II.8.2 Appareils tachymétriques

Il existe deux méthodes de mesure

a) mesure à l'aide d'un tube de venturi : fig (2.19)

Il consiste à mesurer la pression au niveau de la section rétrécie par rapport à la pression statique de l'air (ou gaz). On utilise comme appareil indicateur les manomètres à colonne d'eau, à capsule, à membrane, ... etc, car le

principe est purement manométrique.

b) mesure à l'aide d'une résistance électrique : fig 2.20  
 Il consiste à introduire dans le flux gazeux une résistance chauffée métallique ou semi-conducteur ; la valeur de la résistance s'établissant dans le flux gazeux est une fonction de la vitesse du gaz et peut être affichée à l'aide d'un instrument électrique.

### II 8.3 Appareils manométriques

a) comparateur Solux : fig 2.21

La lecture de la pression  $h$  régnante dans la chambre de mesure est donnée par un manomètre à liquide. Ses variations sont fonctions du rapport des sections du gicleur d'entrée et de sortie ; donc en fonction seulement de ce dernier puisque la section du gicleur d'entrée est constante. Les variations de la pression d'alimentation  $H$  n'ont d'autre effet que de provoquer le déplacement du mobile (M) et en conséquence une variation du débit d'air entre le clapet et son siège ; donc la pression en amont de la chambre de mesure demeure constante.

b) Manomètre ordinaire : fig 2.22

L'air à la pression  $H$  est injecté directement dans la chambre de mesure où règne la pression de mesure  $h$  fonction de la section de sortie, la pression  $h$  est mesurée



par un manomètre. Les variations de la pression d'alimentation  $H$  modifient le point zéro du manomètre ce qui nécessite des réglages fréquents.

### c) manomètre différentiel

Ce type de manomètre est utilisé pour éviter l'influence des variations de la pression d'alimentation sur la pression de mesure; dans ce cas la pression de mesure est mesurée par rapport à une pression réglable.

Considérons trois types de manomètres différentiels:

#### c.1 - manomètre à membrane fig 2.23.

Le déplacement de la membrane est dû à la différence de pression  $h-h_1$ ; c'est à dire à la valeur  $z$ .

Cette différence n'est pas constante à cause de la résistance de la membrane; le très faible déplacement de cette dernière ne permet pas la possibilité d'obtenir un diapason de mesure suffisant.

#### c.2 - manomètre à soufflet métallique: fig 2.24

La position du cadran mobile est déterminée par la différence de pression  $h-h_1$ , et son déplacement agit sur le mécanisme de lecture.

La possibilité du déplacement du cadran mobile est suffisamment grande, et donne un diapason de mesure remarquable ainsi que la possibilité de disposer plusieurs



contacts pour obtenir plusieurs signaux électriques.

### c.3. Système à compensation (ETAMIC): fig 2.25

Cet appareil fonctionne exclusivement en haute pression (environ 2 bars) ce qui correspond à une pression d'alimentation de 4 à 5 bars. Elle comprend essentiellement une membrane souple et étanche (5), l'air sous la pression  $H$  provenant de la source d'alimentation traverse deux gicleurs (2) et (4) et s'échappe, d'une part, par l'orifice de mesure (1) dont la section dépend de l'épaisseur  $z$  de la lame d'air entre la buse de sortie et la pièce à contrôler, d'autre part, par l'orifice (7) dénommé "fuite annulaire", dont la section d'écoulement dépend de la position du pointeau (6).

Pour un débit d'air déterminé à la buse de sortie et pour une lame d'air d'épaisseur  $z$  entraîne une déformation de la membrane et une modification de la position du pointeau, il en résulte une variation de la section de la fuite annulaire jusqu'à ce que l'équilibre des pressions ( $h_1 = h_2$ ) dans les deux canalisations soit rétabli.

Cette nouvelle position du pointeau est représentée sur la montre du comparateur (8) par la rotation de l'aiguille. Les écarts entre la pièce à vérifier et l'étalon sont traduits directement.

L'Etamic disponible au département de mécanique est doté d'un circuit électrique qui peut allumer deux lampes témoin pour des écarts réglable de part et d'autre de la membrane. Cette propriété peut être utilisée pour le contrôle automatique.

-- caractéristique de L'Etamic  
c'est la relation entre le déplacement  $b$  de la membrane (ou du pointeau) en fonction de la cote  $z$  et qui peut être déterminée à partir de la condition d'équilibre des pressions. La relation (2.5) appliquée aux chambres de comparaison et de mesure donne:

$$h_1 = \frac{H}{1 + \left(\frac{S_1}{S_4}\right)^2} \quad 2.44 \quad \text{et} \quad h = \frac{H}{1 + \left(\frac{S_1}{S_2}\right)^2} \quad 2.45$$

À l'équilibre de la membrane et en négligeant sa résistance à son déplacement et également les forces extérieures telles que l'action des ressorts, on aura  $h_1 = h$  ce qui nous donne

$$\frac{S_2}{S_1} = \frac{S_4}{S_2} \quad 2.46$$

Les sections  $S_1$ ,  $S_2$  et  $S_4$  sont respectivement

$$S_1 = \pi d_1 z$$

$$S_2 = \pi \frac{d_2^2}{4}$$

$$S_4 = \pi \frac{d_4^2}{4}$$

La surface  $S_7$  est la surface d'écoulement de l'air entre le gicleur (7) et le pointeau (6)



$$S_7 = \frac{\pi}{\cos \beta} (d_7 - d)(d_7 + d)$$

or  $\cos \beta = \frac{d_7 - d}{2\ell}$

d'où

$$S_7 = \frac{\pi \ell}{2} (d_7 + d)$$

avec  $\ell = b \sin \beta$ .

on a finalement

$$S_7 = \pi b \sin \beta \left( d_7 - \frac{b}{2} \sin 2\beta \right) \quad 2.47$$

En utilisant l'égalité 2.46 on obtient

$$\frac{\sin 2\beta}{2} b^2 - b d_7 + \frac{d_4}{d_2} \frac{d_1}{\sin \beta} z = 0 \quad 2.48$$

En résolvant cet équation par rapport à  $b$ , on trouve :

$$b = \frac{d_7}{\sin 2\beta} \left( 1 \pm \sqrt{1 - 4 \left( \frac{d_4}{d_2} \right)^2 \frac{d_1 z \cos \beta}{d_7^2}} \right) \quad 2.49$$

Pour  $z = 0$  on a  $b = 0$  ; donc il ne faut retenir que le signe négatif ; d'où l'expression de la caractéristique de L'ETAMIC

$$b = \frac{d_7}{\sin 2\beta} \left( 1 - \sqrt{1 - 4 \left( \frac{d_4}{d_2} \right)^2 \frac{d_1 z \cos \beta}{d_7^2}} \right) \quad 2.50$$

un développement du premier ordre de la quantité sous le radical nous conduit à une expression plus simple :

$$b = \frac{1}{\sin \beta} \left( \frac{d_4}{d_2} \right)^2 \cdot \frac{d_1}{d_7} \cdot z \quad 2.51$$

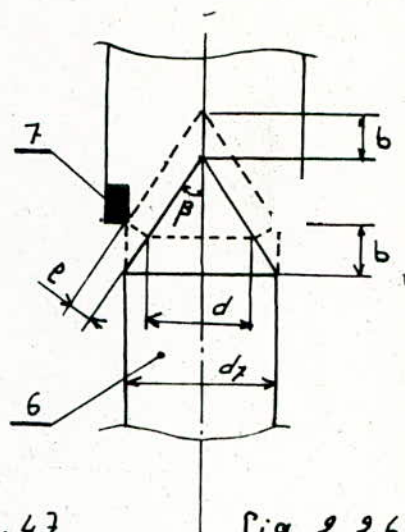


fig 2.26



La représentation graphique de la caractéristique de l'Etamic est donné ci-contre.

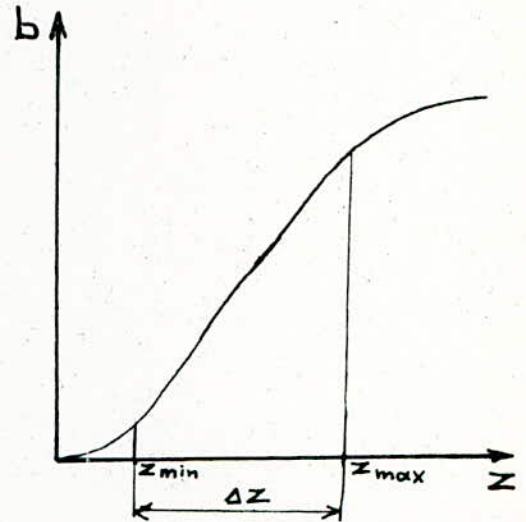


fig 2.27

- sensibilité  $K_t$

Elle est donnée par le produit de la sensibilité  $K_z$  du système pneumatique et la sensibilité  $K_c$  du comparateur

$$K_t = K_z \cdot K_c \quad 2.52$$

$$K_z = \frac{db}{dz} = \frac{1}{\sin\beta} \left( \frac{d_4}{d_2} \right)^2 \cdot \frac{d_1}{d_2} \quad 2.53$$

On remarque bien que la sensibilité du système pneumatique est constante et ne dépend que des diamètres des gicleurs et de l'angle au sommet du cône de la tige.

La sensibilité du comparateur est donnée par

$$K_c = \frac{c}{i} \quad 2.54$$

où  $c$  : désigne la longueur de la graduation

$i$  : la valeur de la division

schémas des différents type d'appareils pneumatiques

fig 2.18

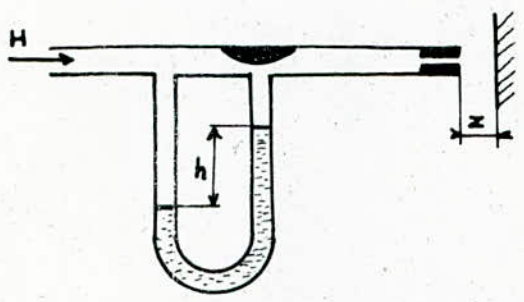
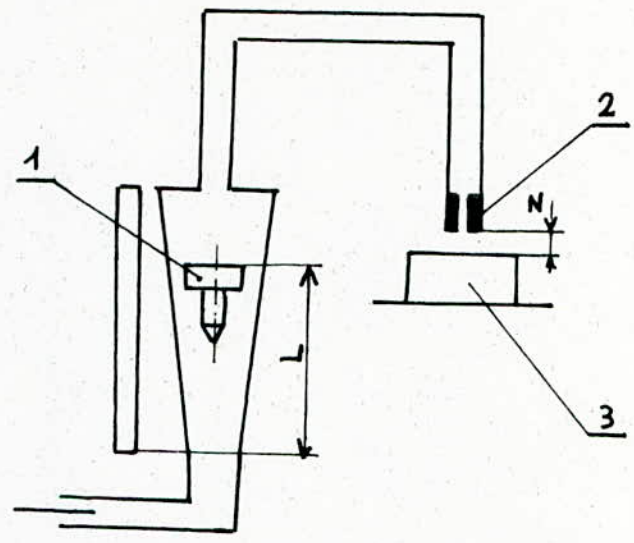


fig 2.19

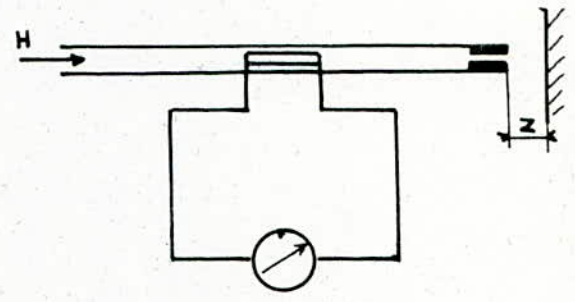
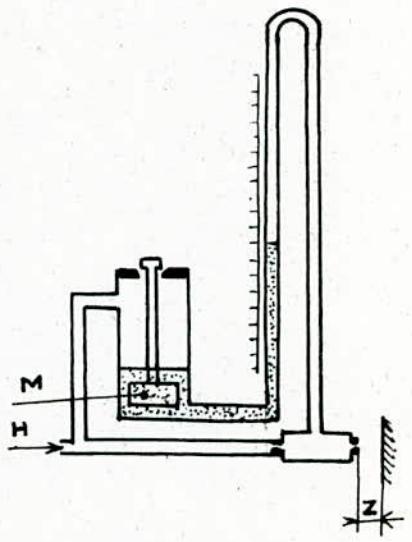


fig 2.20

fig 2.21



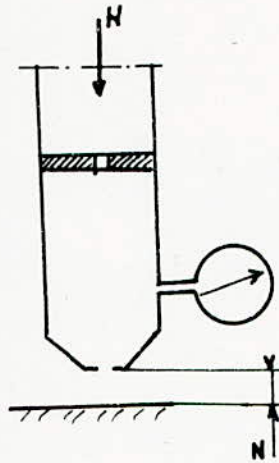


fig 2.22

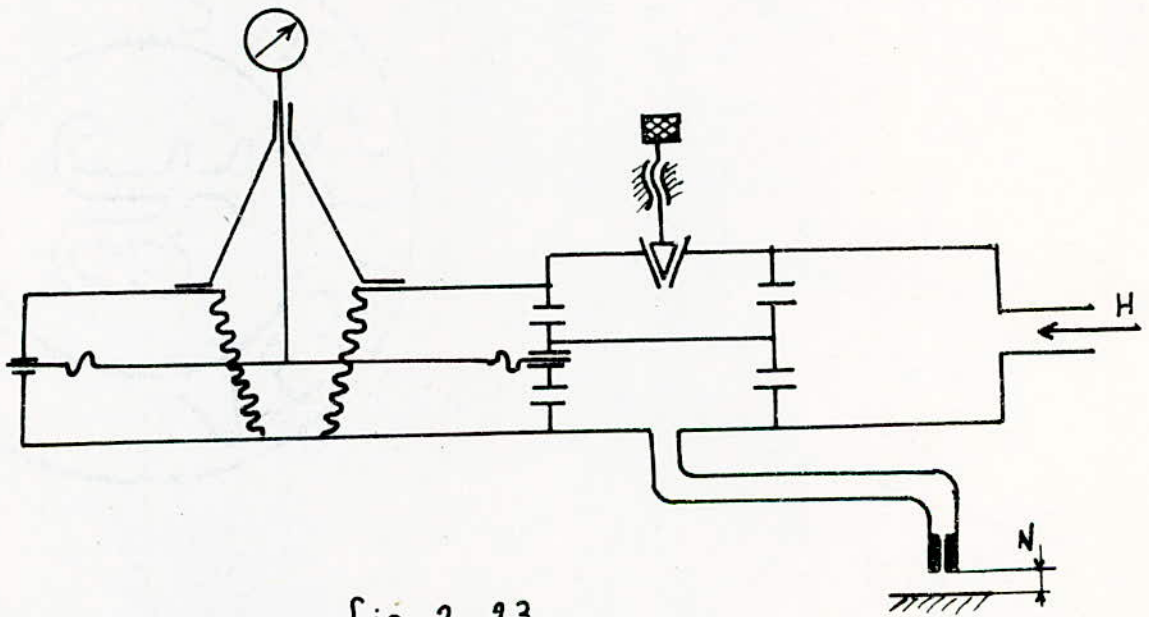


fig 2.23



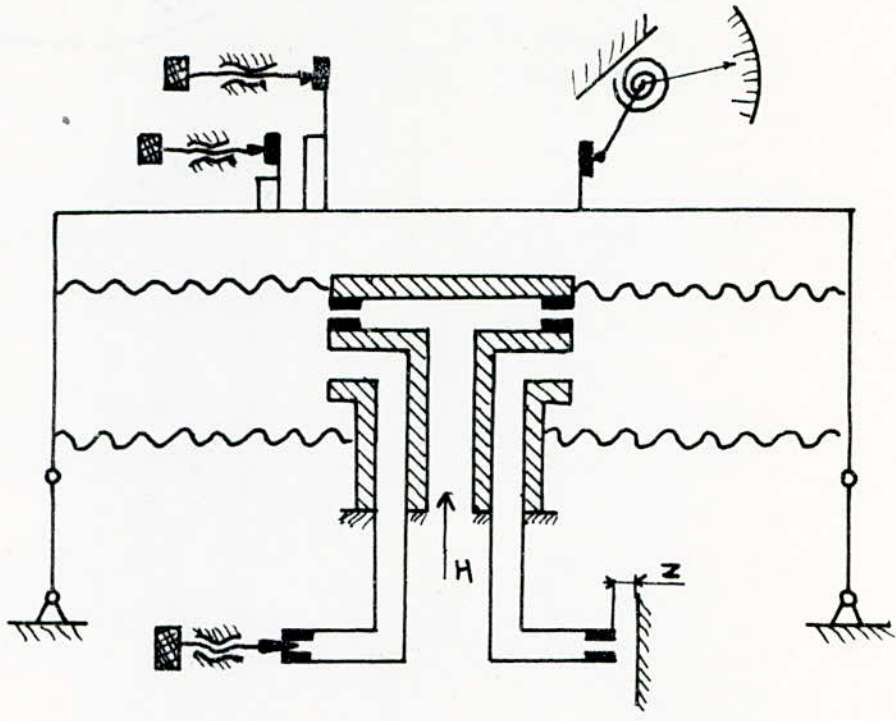


fig. 2.24

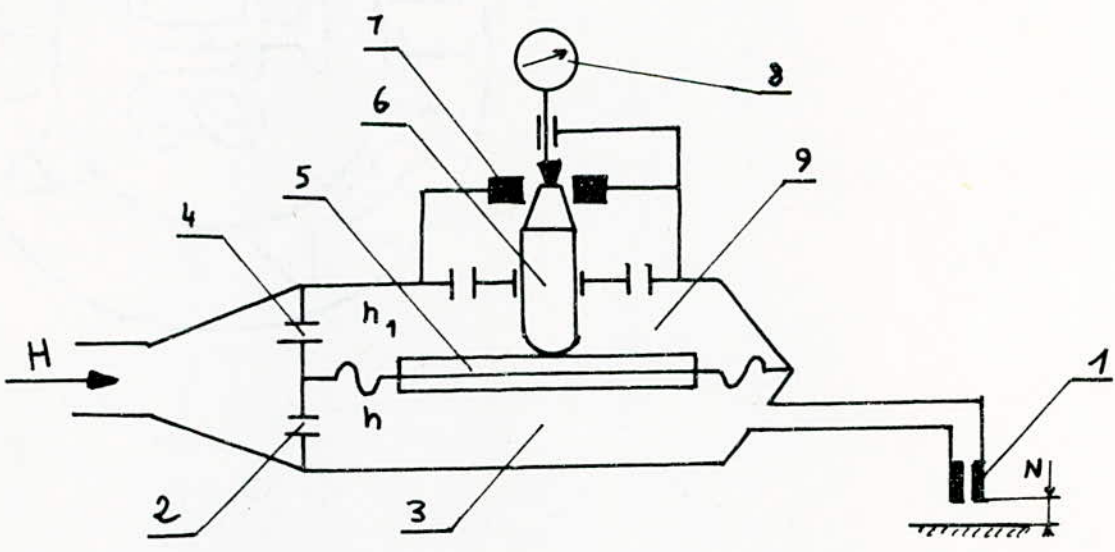


fig 2.25.

II.9 Etude du système ETAMIC - Capteur à injection  
C'est le système utilisé dans notre projet :

II.9.1 Description

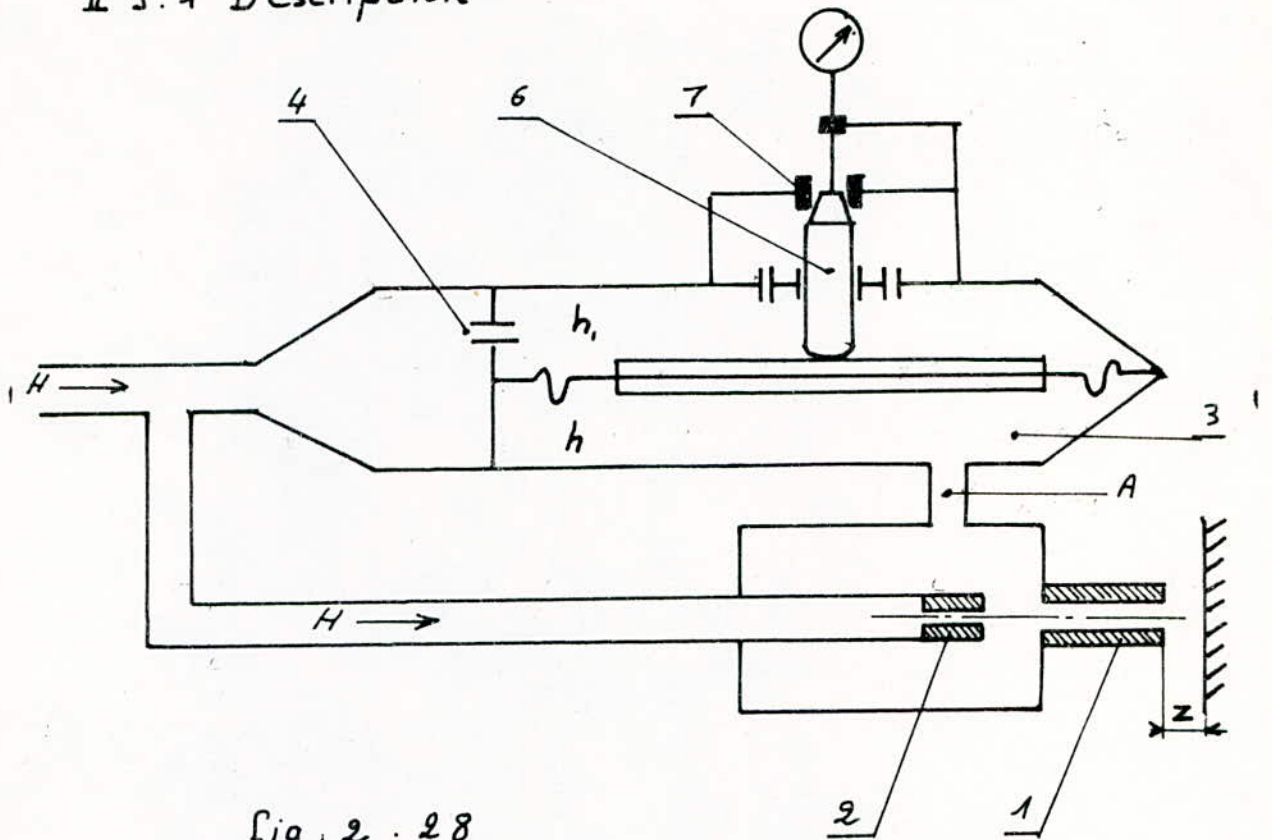


fig. 2.28

L'ETamic utilisé est celui représenté dans la figure 2.25 mais le gicleur (2) dans cette figure est ici supprimé.

L'air sous la pression  $H$  maintenue constante alimente l'ETamic et le capteur à injection lesquels sont reliés entre eux par la canalisation  $A$ . La pression dans la chambre (3) est toujours égale à celle dans la chambre du capteur à injection. Les variations de la cote  $z$  fait varier la pression  $h$  dans la chambre de mesure

et par conséquent le déplacement  $b$  de la membrane et du pointeau, ces déplacements sont indiqués par un comparateur mécanique à aiguille.

### II.9.2 caractéristique.

À l'équilibre neutre de la membrane, la pression dans la chambre de compensation est égale à celle dans la chambre de mesure du capteur à injection.

Pour le capteur à injection la pression de mesure est donnée par la relation (2.35); et pour l'étamic la pression de comparaison est donnée par la relation (2.44).

Étant donné que la membrane est très flexible (force élastique pratiquement nulle) et que les forces extérieures sont négligeables devant les forces de pression on a à l'équilibre les pressions  $h$  et  $h_1$  qui s'égalisent

$$\frac{2H \left( \frac{S_1}{S_2} - \varepsilon \right)}{2 \left( \frac{S_1}{S_2} - \varepsilon \right) - \left( \frac{S_1}{S_2} \right)^2} = \frac{H}{1 + \left( \frac{S_2}{S_4} \right)^2}$$

après transformation on aboutit à :

$$S_2 = \frac{\left( \frac{S_4}{S_1} \right) S_2}{\sqrt{2 \left( \varepsilon - \frac{S_1}{S_2} \right)}} \quad 2.55$$

Avec

$$S_1 = \pi d_1 z$$

$$S_2 = \pi \frac{d_2^2}{4}$$

$$S_4 = \pi \frac{d_4^2}{4}$$

$$S_2 = \pi b \sin \beta \left( d_1 - \frac{b}{2} \sin 2\beta \right)$$



En remplaçant les valeurs des sections dans 2.55 on trouve l'équation suivante :

$$\frac{\sin 2\beta}{2} b^2 - b d_2 + \frac{\left(\frac{d_4}{d_2}\right)^2 d_1 z}{\sin \beta \sqrt{2\left(\varepsilon - \frac{4d_1 z}{d_2^2}\right)}} = 0 \quad 2.56$$

En résolvant cet équation par rapport à  $b$  et en tenant compte de la condition initiale ( $b=0$  pour  $z=0$ ) on trouve l'expression de la caractéristique du système :

$$b = \frac{d_2}{\sin 2\beta} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{4\left(\frac{d_4}{d_2}\right)^2 d_1 z \cos \beta}{d_2^2 \sqrt{2\left(\varepsilon - \frac{4d_1 z}{d_2^2}\right)}}} \right] \quad 2.57$$

Pour aboutir à une expression plus simple à analyser on fait un développement du premier ordre de l'expression sous le radical ; alors on trouve :

$$b = \frac{1}{\sin \beta} \left(\frac{d_4}{d_2}\right)^2 \frac{d_1}{d_2} \frac{z}{\sqrt{2\left(\varepsilon - \frac{4d_1 z}{d_2^2}\right)}} \quad 2.58$$

La complexité de cette formule réside en la détermination analytique du rapport des densités  $\varepsilon = \frac{\rho_2}{\rho_1}$

Il n'existe que les expressions empiriques donnant  $\varepsilon$  en fonction de  $s_1/s_2$  et  $H$ , et qui sont donnée dans le paragraphe II.7.3.b

II.9.3 sensibilité  $K_z$

Elle est définie par :

$$K_z = \frac{db}{dz}$$

On dérivant l'expression 2.58 par rapport à  $z$  :

$$K_z = \frac{1}{\sin \beta} \left( \frac{d_4}{d_2} \right)^2 \frac{d_1}{d_2} \frac{1}{\sqrt{2\left(\varepsilon - \frac{4d_1 z}{d_2^2}\right)}} \left( 1 + \frac{2d_1 z}{\varepsilon d_1^2 - 4d_2 z} \right) \quad 2.61$$

On remarque bien que la sensibilité  $K_z$  dépend de  $z$  ; et on remarque aussi que lorsque  $z$  tend vers la valeur  $\frac{\varepsilon d_2^2}{4d_1}$  la différence  $\varepsilon - \frac{4d_1 z}{d_2^2}$  tend vers zéro et par suite le rapport  $\frac{z}{\sqrt{2\left(\varepsilon - \frac{4d_1 z}{d_2^2}\right)}}$  tend vers l'infini

La courbe représentative de  $b = f(z)$  possède alors une asymptote  $z_{\max} = \frac{\varepsilon d_2^2}{4d_1}$  ; fig 2.29 dans la plage  $(z_1 \div z_{\max})$  la caractéristique possède une forte pente.

Donc pour un tel système de contrôle la sensibilité, dépendant de la position du point  $M$ , est dans ce cas très élevée.

Si de plus, cette plage présente une partie linéaire le système donnera une grande satisfaction au contrôle

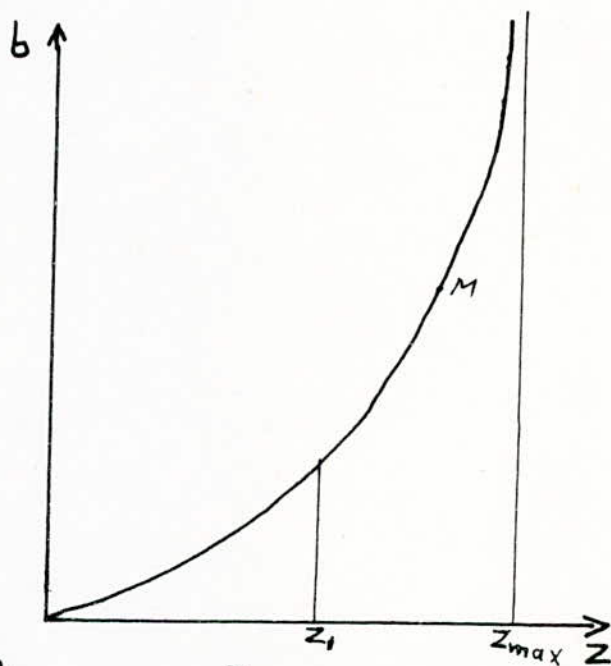


fig 2.29

industriel car le diapason de mesure sera largement augmenté par rapport à ceux obtenus avec les systèmes pneumatiques ordinaires.

Des expérimentations faites sur des capteurs à injection combinés avec l'Etamic ont montré que la courbe représentée par la fig 2.29 présente deux parties pratiquement linéaires, l'une de faible pente  $K_z$ , et l'autre de forte pente  $K_{z_2}$  [bibliographie (1)]

Alors notre projet consiste à utiliser ses résultats et de les adopter au contrôle automatique appliqué sur une rectifieuse.



### CH3 DESCRIPTION TECHNIQUE

Se referer au dessin d'ensemble (.SYS001)

Le système de contrôle étudié est conçu pour le contrôle du diamètre extérieur des arbres compris entre 50 et 100 mm. Pour le contrôle des arbres dont le diamètre n'appartient pas à cet intervalle on doit simplement changer le cé pneumatique (4) par un autre convenable et choisir les gicleurs appropriés.

Le système est fixé au chariot porte-meule par la barre (21), et incline d'un angle réglable pour éviter l'encombrement avec la meule. Deux axes parallèles (10) et (18) permet au système de se déplacer dans un plan perpendiculaire à l'axe de la pièce. Le parallélisme de ces deux axes est assuré par la rotation de la pince (18') et l'axe (16), puis un blocage avec l'écrou (17).

Le serrage des pinces par les vis (20) permet le blocage du système sur son poste de travail.

L'action de l'écrou (11) règle la tension du ressort (9) qui assure le contact continu de la touche inférieure (5) avec une force d'environ 1N sur la pièce (2), l'écrou (11) est freiné par un contre-écrou de même type.

Une touche intermédiaire (7) assure la position de l'axe du capteur et de la touche inférieure dans le plan dia-

-metrale, son déplacement est incliné de  $45^\circ$  par rapport à ce plan et peut être bloquer par une vis à bout conique (6). Le système travail sans contact ou avec contact; les capteurs doivent avoir un bout inférieur de 8mm de diamètre et dont la longueur est d'au moins 10mm afin de pouvoir les monter sur le porte-captteur (14), où ils sont fixés par la vis (4). Le porte-captteur (14) glisse (pour le réglage) par rapport au ce pneumatique et se bloque par la vis (2).

Le capteur à injection est constitué par deux parties; un gicleur de sortie et un gicleur d'entrée qui doivent être coaxiaux (voir dessin du capteur à injection)

Dans le cas d'un contrôle sans contact le capteur à injection est monté directement sur le porte-captteur, tandis que dans le cas d'un contrôle avec contact il sera monté serré dans le bout supérieur du capteur à contact (voir dessin du capteur avec contact SYS002)

Le capteur avec contact est constitué par une tige (1) qui peut glisser dans le corps du capteur sous l'effet du ressort (2) et les variations du diamètre de la pièce. Les deux parties du corps du capteur doivent être coaxiaux. La partie supérieure est percée pour permettre l'échappement de l'air détendu.

Pour conserver les propriétés des surfaces en contact de la pièce les bouts acrés sont en carbure métallique fixés par brasage (cas des touches inférieure et intermédiaire) ou par ajustement serré légèrement (H7/j6) (cas du touche mobile), puis ces surfaces sont rectifiées.



# CH4 MODE OPERATOIRE

L'operation commence par le réglage du système de contrôle qui s'effectue en plaçant sur la rectifieuse une pièce étalon dont le diamètre à la valeur

$$D_e = D_{nom} + \frac{ES + EI}{2} \quad 4.1$$

Puis on ramène l'axe de la touche inferieure du cé de contrôle dans le plan diametral du cylindre étalon. Le repérage de cette position sera indique' par une valeur minimale de z lue sur le comparateur. Avec l'écrou (11) on regle la tension du ressort (9) afin d'avoir une pression d'environ 1N sur la pièce.

On ramene la touche intermédiaire (7) contre la pièce de tel façon que le contact inferieure soit au niveau du plan diametral quand elle touche la pièce. son blocage s'effectue par la vis à bout conique (6) Ceci étant un réglage "grossier" pour l'affiner on doit regler la tête de mesure.

Ce réglage consiste à regler une distance égale à  $z_{moy}$  entre le gicleur et la pièce étalon (cas du contrôle sans contact) ou bien entre le gicleur et le bout superieur de la tige mobile (cas du contrôle avec contact), pour cela on insere entre la touche inferieure et le capteur une empilement de cales etalons dont l'épaisseur total doit

être égal à

$$L = D_e + Z_{moy} = D_{nom} + \frac{ES + EI}{2} + Z_{moy} \quad 4.2$$

on s'arrange pour que les surfaces actives de l'empilement soient perpendiculaires à l'axe du capteur et de la touche inférieure.

Une fois  $z_{moy}$  est régler on initialise le comparateur à zéro. A ce stade le réglage est terminé, alors on fixe la pièce à usiner à la place de la pièce étalon

Dans le cas du contrôle sans contact l'opérateur doit tourner le sé de contrôle autour de l'axe (10) pour le ramener à la position de travail, et cela après avoir arrêté la rotation de la pièce à la fin de chaque course de la table. La position de travail sera indiquée atteinte quand la touche intermédiaire bute la pièce.

Dans le cas du contrôle avec contact le système reste à sa position de travail jusqu'à la fin de l'opération.

Au début du contrôle la valeur de  $z_{moy}$  se trouve changer du fait que les pièces à rectifier viennent avec un diamètre supérieure au diamètre désiré. Alors le débit d'air diminue, la membrane de l'Etamic perd son équilibre initial et l'aiguille du comparateur se trouve déplacer de sa position zéro.

Au cours d'usinage le diamètre de la pièce diminue

ce qui entraîne une augmentation de  $z$  traduite sur le comparateur par l'approche de l'aiguille à la position zéro. Une fois cette position est dépassée par une valeur qui doit être inférieure à l'intervalle de tolérance (donc les dernières passe doivent être inférieures à l'intervalle de tolérance) l'opération s'arrête manuellement ou automatiquement suivant le cas

A ce moment l'opérateur libère la pièce finie pour placer une autre.



## CH5      CONTROLE AUTOMATIQUE

Avant de donner les solutions d'automatisation des mouvements de la rectifieuse avec le système de contrôle il est nécessaire de donner un bref rappel sur les mouvements de la rectifieuse et leurs commandes

### 1. Les mouvements

Au cours de la rectification on distingue trois mouvements bien déterminés :

a. mouvement de pénétration appliqué à la meule par un déplacement transversal du chariot porte-meule

b. mouvement d'avance de translation alternatif communiqué à la table ou au chariot porte-meule suivant le type de machine (La rectifieuse U700 SA disponible dans l'atelier a le mouvement d'avance communiqué à la table)

c. mouvement de coupe rotatif communiqué à la meule et à la pièce.

### 2. Les commandes

Le mouvement de pénétration et le mouvement d'avance s'effectuent hydrauliquement ou manuellement sur des rails de guidage de haute précision, tandis que les mouvements de coupe sont assurés par deux moteurs électriques de vitesses différentes.

Dans le cas des mouvements commandés automatiquement ils s'effectuent hydrauliquement

### 3. Principe de la commande hydraulique

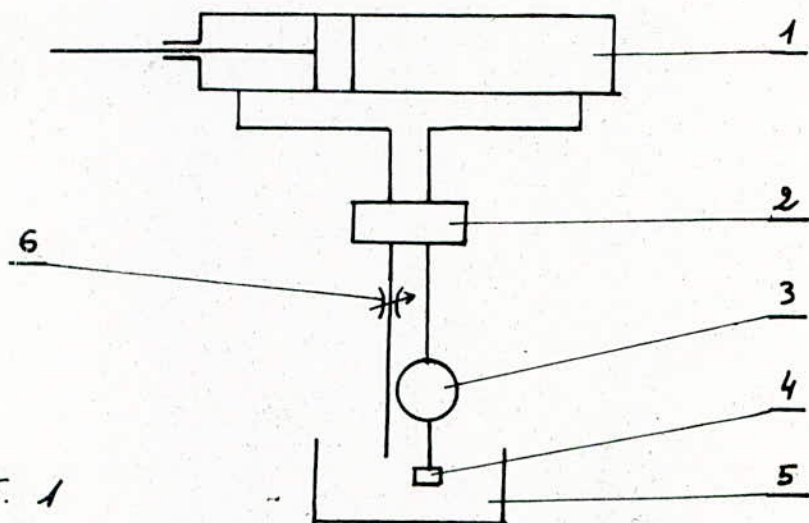
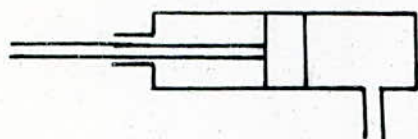


fig 5. 1

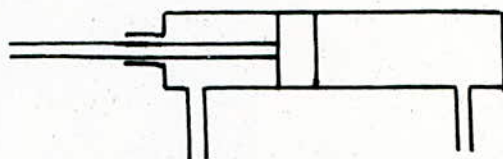
un générateur (pompe volumétrique) (3) assure la circulation du fluide moteur qui traverse au début un organe de distribution qui sont dans notre cas des vannes (2). Le fluide est ensuite distribué vers un organe récepteur transformant l'énergie hydraulique en un énergie mécanique, cet organe est un vérin (1) à simple effet ou à double effet. Ces vérins commandent le mouvement du chariot porte-meule et le mouvement de la table.

Le circuit hydraulique peut comporter d'autres accessoires tels que :

- un organe de regulation de vitesse (6)
- un dispositif de securité
- une reser voir de fluide (5)
- une crépine (4)



verin à simple effet



verin à double effet

fig 5.2

La commandes des distributeurs peut être :

- manuelle (levier ou pedale)
- mecanique (poussoir, ressort, galet)
- par fluide sous pression
- électrique (electro-aimant)
- combinée

Dans notre projet c'est la commande électrique qui est utilisée.

#### .4 Automatisation :

L'automatisation des commandes avec le système de contrôle consiste à faire arrêter l'usinage quand le système de contrôle signale que la cote désirée est atteinte.

Le schema de principe est donné par la figure 5.3



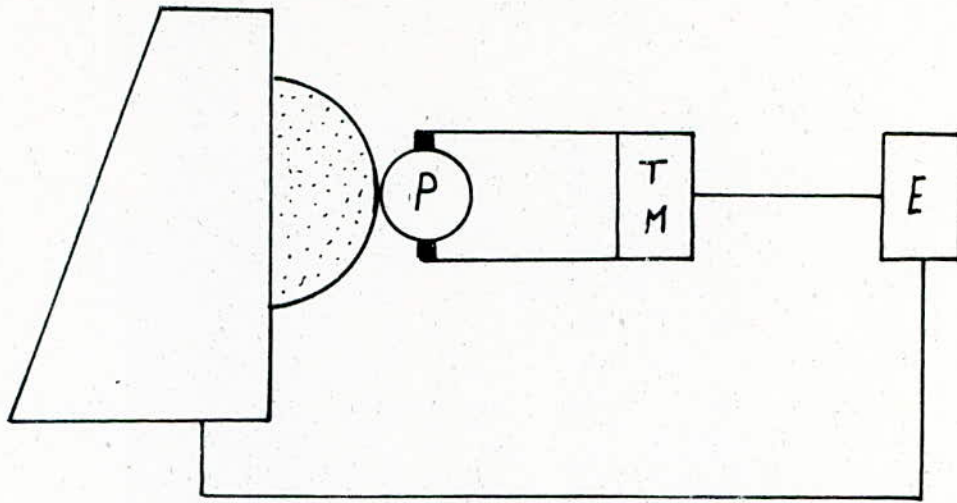


fig 5.3

La tête de mesure (TM) prend l'information continue du changement du diamètre de la pièce, cet information est transportée vers l'appareil de commande E (Etronic dans notre cas) sous forme d'un signal pneumatique. L'appareil de commande E transforme ce signal en un signal électrique et l'envoie vers les éléments de commande de la rectifieuse (les vannes dans notre cas) pour arrêter le mouvement transversal du chariot porte-meule qui revient ensuite vers l'arrière, et le mouvement alternatif de la table.

5. Principe du circuit de commande automatique  
 Se référer au schéma de principe fig 5.5

En appuyant passagèrement sur le bouton A1 on commande l'électrovanne EV1 qui libère le fluide

sous pression actionnant ainsi et hydrauliquement le distributeur D1, et par conséquent le piston du verin V1 se déplace vers la droite entraînant avec lui la table. Simultanément l'avance du chariot porte-meule est déclenchée par action du distributeur D2 sur le verin V2.

Lorsque la butée de la table arrive en contact avec (B) l'électrovanne EV2 est commandée inversant ainsi le mouvement de la table par son action hydraulique sur le distributeur D1.

Au cours du retour, (c) alimenté provoque le mouvement inverse.

Parallèlement au contacts (c) et (B) on place respectivement deux autres contacts (E) et (F) qui commandent le mouvement retour du chariot porte-meule.

A la fin de chaque course de la table un signal se produit au contact E ou F et se dirige vers l'électro-aimant du contact A2 qui en s'ouvrant coupe ~~le circuit~~ le circuit alimentant le distributeur D2, et par conséquent le chariot porte-meule recule en arrière. Néanmoins le signal provenant des contacts E ou F ne peut atteindre son but tant que le contact A3 n'est pas fermé.



Le signal permettant la fermeture du contact  $A_3$  et un signal électrique qui provient de l'Etamic et qui ne peut être envoyé que si la cote de l'imittant l'écart supérieur est dépassé.

Pour avoir le signal à ce moment précis et pour ne pas rater la cote désirée, deux conditions doivent être vérifiées.

a. Au cours du réglage il faut que la ligne délimitant  $z_m$  se confonde avec le milieu de l'intervalle de tolérance fig 5.4, et pour avoir cette condition il faut assurer la relation

$$L = D_{nom} + \frac{ES + EI}{2} + z_{moy} \quad 5.1$$

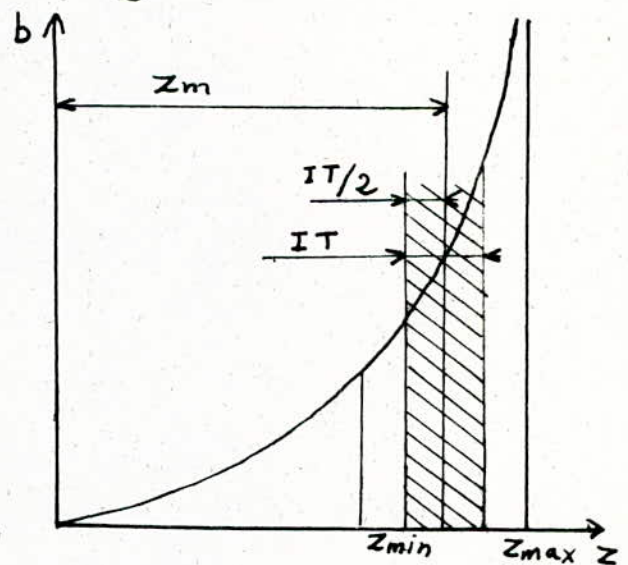
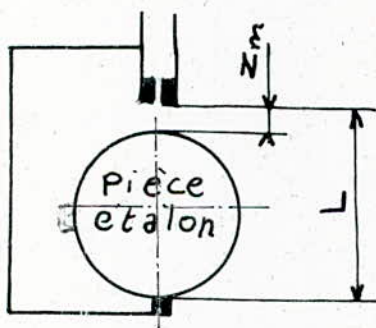


fig 5.4

soient les trois cas suivants:

1)  $ES > 0$  ,  $EI < 0$  , et  $|ES| = |EI|$

dans ce cas

$$L = D_{nom} + z_{moy} \quad 5.2$$



2)  $ES = 0$  et  $EI < 0$  (arbre normale)

dans ce cas on a

$$L = D_{nom} + \frac{EI}{2}$$

$$L = D_{nom} - \frac{IT}{2} \quad 5.3$$

3)  $ES > 0$  et  $EI = 0$

dans ce cas on a

$$L = D_{nom} + \frac{ES}{2}$$

$$L = D_{nom} + \frac{IT}{2} \quad 5.4$$

b. Les dernières passes de la rectification doivent être inférieures à l'intervalle de tolérance.

Le réglage de l'écart ( $\pm IT/2$ ) qui contrôle le signal qui se produit par l'étamie se fait par une vis précise.

La cote désirée étant réalisée, le chariot porte-meule revient donc en arrière et ouvre le contacte  $A_4$  coupant ainsi l'alimentation de (c) ce qui permet à la table de retourner à son point de départ.

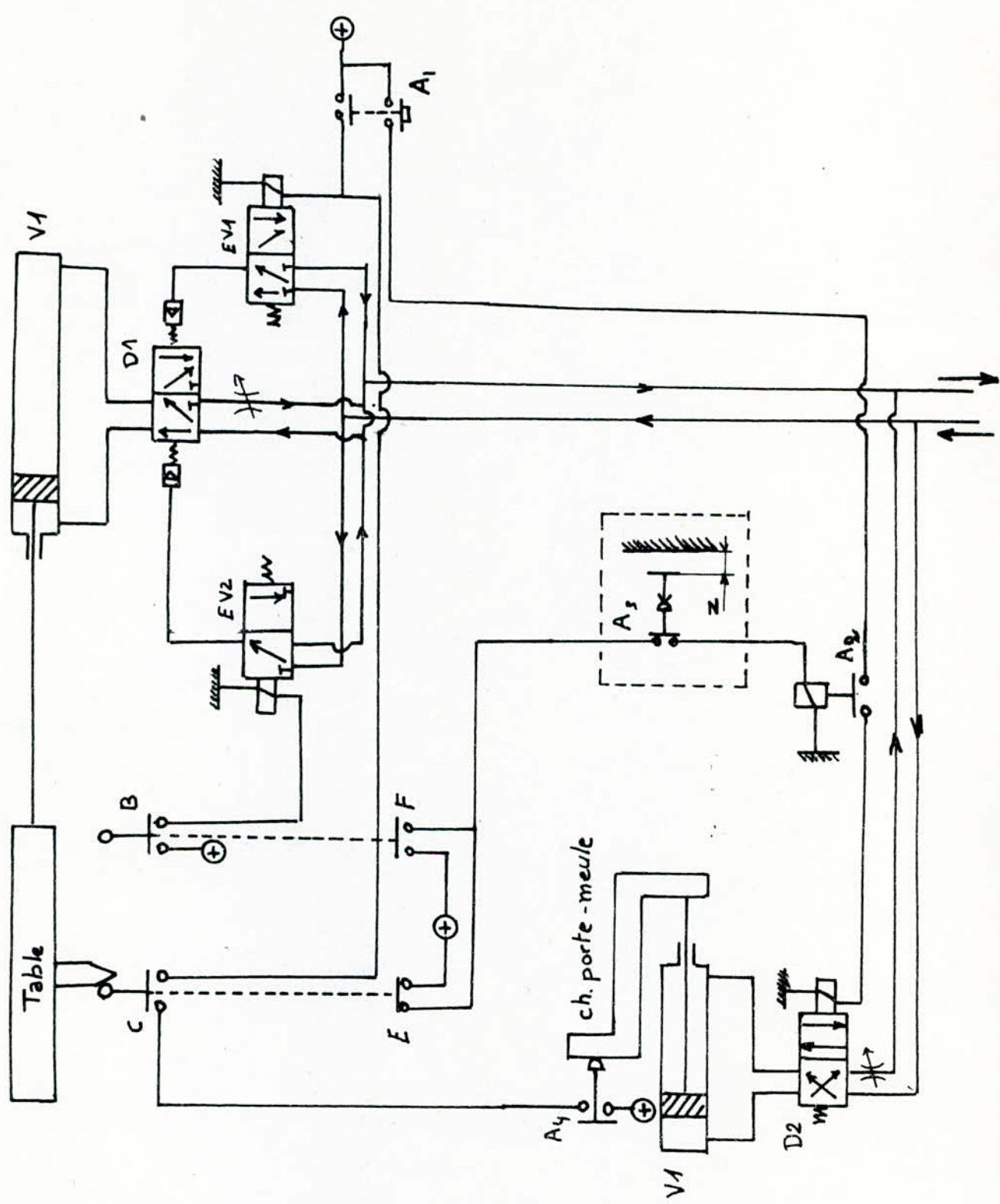


fig 5.5: Principe de la commande automatique des mouvements

# CH6 CALCULS RELATIFS AU SYSTEME

## II.1 Calcul pneumatique

a) soit la relation donnée dans le paragraphe II.6

$$\Delta z = (1,2 \text{ à } 1,3) IT$$

IT: tolérance maximale des pièces qui peuvent être contrôlées ( $D = 100 \text{ mm}$ )

on a pour la qualité 8  $IT = 54 \mu\text{m}$

on choisit  $\Delta z = 1,25 IT$  6.1

donc le diapason de mesure doit être supérieur à

$$\Delta z = 1,25 \cdot 54 = 67,5 \mu\text{m}$$

D'après les expérimentations faites sur les capteurs à injection réalisés dans l'atelier de mécanique les caractéristiques du capteur qui a un diapason de mesure  $\Delta z \geq 67,5 \mu\text{m}$  a été trouvé avec une pression d'alimentation  $H = 0,15 \text{ MPa}$ .

Ces caractéristiques sont : (Voir bibliographie [13])

$d_1 = 2,5 \text{ mm}$ ; diamètre du gicleur de sortie

$d_2 = 1,5 \text{ mm}$ ; diamètre du gicleur d'entrée

$d_3 = 0,82 \text{ mm}$ ; diamètre du gicleur d'entrée à l'Étamic

la caractéristique graphique d'un tel capteur combiné avec l'Étamic est représenté par la fig 6.1

$$\Delta z = 0,08 \text{ mm}$$

$$z_{\text{moy}} = 0,348 \text{ mm}$$



$$K_{z_2} = 7,4 \text{ mm/mm}$$

b) La partie supérieure du capteur avec contact doit comporter des trous pour l'évacuation de l'air étendu. D'après la condition de mesure pneumatique donnée au paragraphe II-5, la section totale de ces trous  $S_T$  doit être supérieure à la section latérale maximale  $S_{\max}$  de mesure

$$S_{\max} = \pi d_1 z_{\text{moy}} \quad 6.2$$

Pour des raisons de symétrie on prend  $n$  trous de même section et disposés symétriquement par rapport aux diamètres (diamétralement opposés), soit  $d$  le diamètre commun des trous:

$$S_T = n \pi \frac{d^2}{4} \quad 6.3$$

$$\text{on a} \quad S_T > S_{\max} \quad 6.4$$

$$\text{ou bien} \quad n d^2 > 4 d_1 z_{\text{moy}} \quad 6.5$$

En remplaçant  $d_1$  et  $z_{\text{moy}}$  par leurs valeurs données précédemment on trouve

$$n d^2 > 3,48$$

$$\text{prenons} \quad n = 4$$

$$\text{donc} \quad d > 0,933$$

$$\text{soit} \quad d = 1 \text{ mm}$$

## II.2 calcul des ressorts

a) ressort (7) (voir schéma du système de contrôle)

Ce ressort doit assurer une force d'environ 1N appliquée par la touche inférieure sur la pièce.

Le calcul de la masse de chaque élément du système de mesure en passant par les volumes respectifs, sachant que la densité volumique de l'acier est de  $7,85 \text{ Kg/dm}^3$  et celle de bronze et de  $3,9 \text{ Kg/dm}^3$ , on trouve la masse

$$M = 2,050 \text{ Kg.}$$

donc le poids est  $F_p = 2,01 \text{ daN}$

D'après la construction le diamètre moyen  $D_m$  du ressort doit être  $D_m = 24 \text{ mm}$

Ce ressort doit assurer une tension de:

$$F = 2,01 + 0,1 = 2,11 \text{ daN}$$

Le diamètre du fil du ressort est donné par

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{8 \cdot F \cdot D_m}{\pi \cdot R_{pg}}} \quad 6.6$$

$R_{pg}$ : limite élastique de glissement.

$$R_{pg} \approx 0,5 R_e \quad 6.7$$

$R_e$ : limite d'élasticité.

Pour un fil d'acier dur étiré à froid de diamètre  $0,1$  à  $12,5 \text{ mm}$

$$R_e = 125 \text{ à } 150 \text{ daN/mm}^2$$

Prenons  $R_e = 130 \text{ daN/mm}^2$

donc  $R_{pg} = 65 \text{ daN/mm}^2$

tenant compte de la condition

$$d \geq \sqrt{\frac{8 \cdot 2,11 \cdot 2,4}{\pi \cdot 65}} = 1,25 \text{ mm}$$

$$2,5 \leq \frac{D_m}{2d} \leq 5 \quad 6.8$$

ou bien

$$2,4 \leq d \leq 4,8 \text{ mm}$$

on prend  $d = 3 \text{ mm}$

adoptons une constante de raideur du ressort  $k$  égale à  $2,5 \text{ mm/daN}$  pouvant assurer la force désirée par une compression de

$$2,1 \cdot 2,5 = 5,3 \text{ mm.}$$

Le nombre de spires est donné par la formule

$$n = \frac{G \cdot d^4}{8 D_m^3} k \quad 6.9$$

$G$ : module d'élasticité ;  $G = 8000 \text{ daN/mm}^2$

$$n = \frac{8000 \cdot 3^4 \cdot 2,5}{8 \cdot 24^3} = 15,56$$

soit  $n = 16$

La hauteur d'aplatissement approximative est

$$16 \cdot 3 = 48 \text{ mm}$$

La hauteur de fabrication doit être supérieure à

$$48 + 5,3 = 53,3 \text{ mm}$$

prenons une hauteur de fabrication égale à  $55 \text{ mm}$

Le pas d'hélice sera

$$\frac{55}{16} = 3,4 \text{ mm}$$

La longueur du fil nécessaire est donnée par



$$l = \pi D_m \cdot n \quad 6.10$$

$$l = \pi \cdot 24 \cdot 16 = 1206 \text{ mm}$$

b) ressort (13) (voir schéma du système de contrôle)  
D'après la construction du système

$$D_m = 5 \text{ mm}$$

Le poids de la tige (18) étant négligeable (environ  $10^{-4} \text{ Kg}$ ) ce ressort doit assurer une tension de  $0,1 \text{ daN}$ .

Le diamètre du fil du ressort d'après la formule 6.6

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{8 \cdot F \cdot D_m}{\pi \cdot 65}} = 0,27 \text{ mm}$$

En tenant compte de la condition 6.8 on aura

$$0,5 \leq d \leq 1 \text{ mm}$$

prenons

$$d = 0,5 \text{ mm}$$

Nous adoptons une constante du raideur du ressort

$$K = 50 \text{ mm / daN}$$

Le nombre de spires est donné par la formule 6.9

$$n = \frac{8000 \cdot 0,5^4 \cdot 50}{8 \cdot 5^3} = 25$$

La hauteur d'applatissage approximative est

$$25 \cdot 0,5 = 12,5$$

Pour avoir la force désirée ( $0,1 \text{ daN}$ ) à tout moment il faut comprimer le ressort de

$$0,1 \cdot 50 = 5 \text{ mm}$$

D'après la construction la hauteur de fabrication doit être :

$$20 + 5 = 25 \text{ mm.}$$

Le pas d'hélice sera

$$\frac{25}{25} = 1 \text{ mm}$$

La longueur de fil nécessaire est donnée par la formule 6.10.

$$P = \pi \cdot 5 \cdot 25 = 393 \text{ mm}$$

Remarque : Le calcul de la flèche du système n'est pas nécessaire car elle est à tout moment compensée par l'action du ressort (2) ; donc la flèche n'a pas d'influence sur le contrôle.

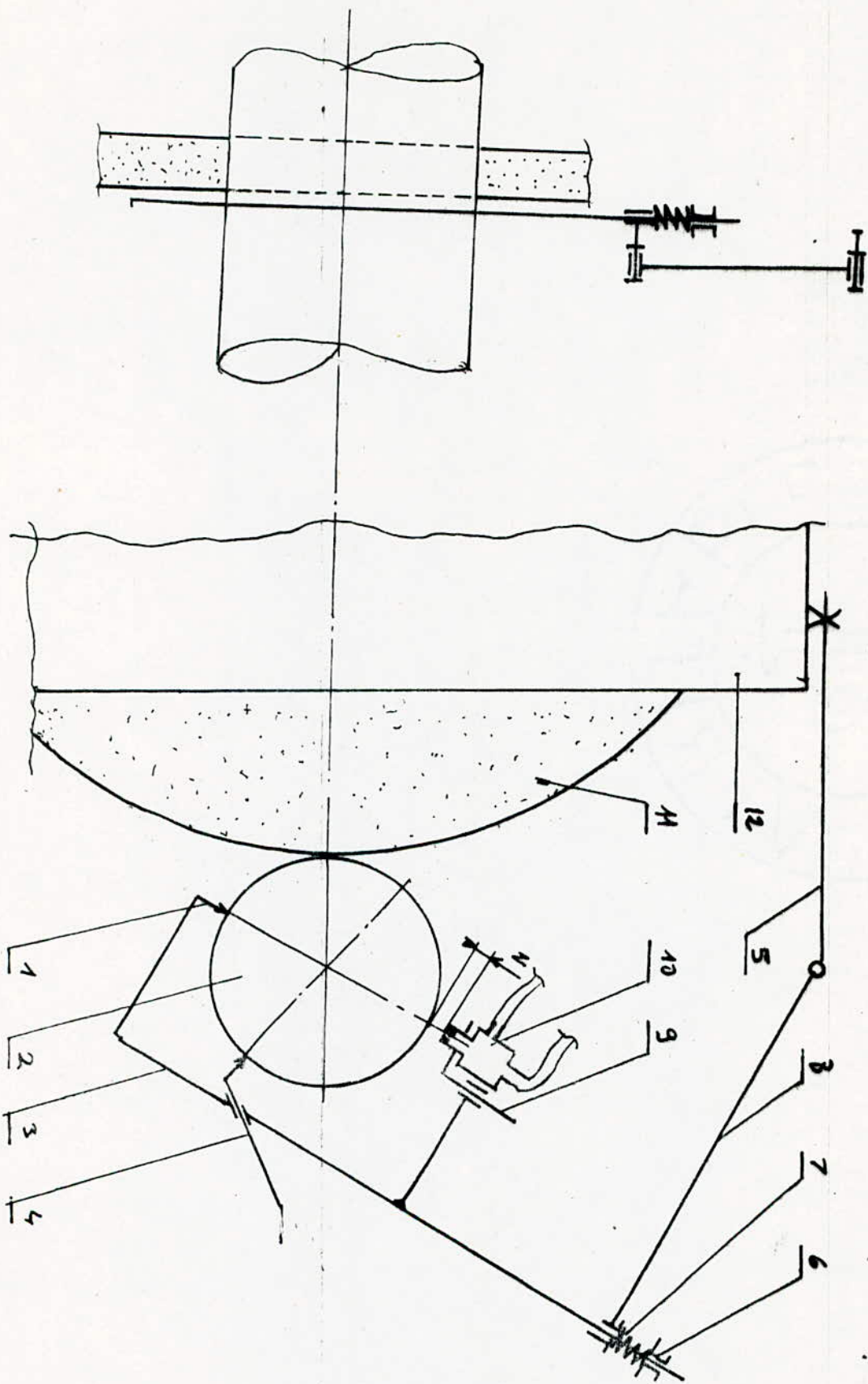
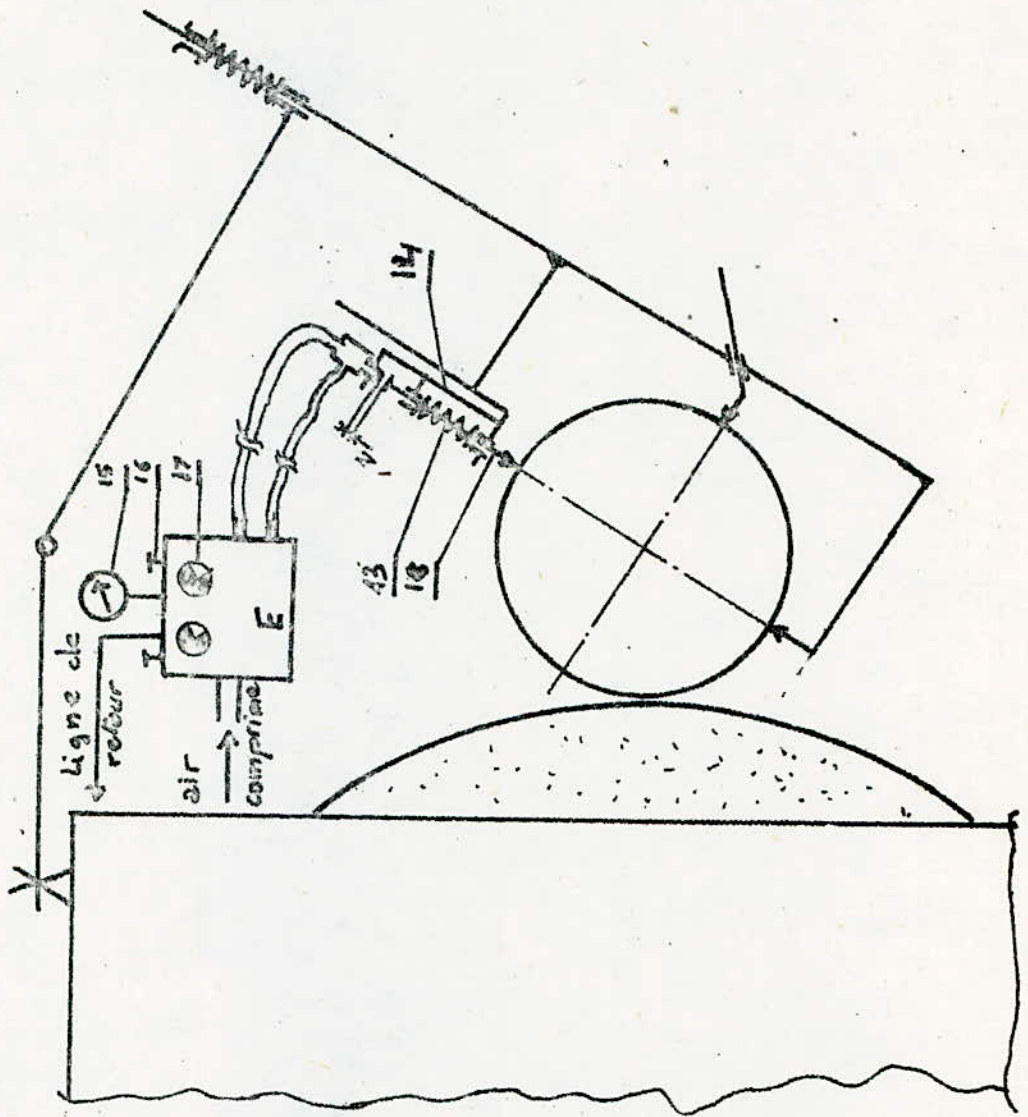


Fig 6.2: schema du système de contrôle sans contact





E: étamic

schéma du système de contrôle avec contact

# Legende du schema du systeme de controle

- 1. Touche inferieure.
- 2 - piece
- 3 - ce de controle
- 4 - touche intermediaire
- 5 - barre de fixation
- 6 - écrou
- 7 - ressort
- 8 - AXE
- 9 - porte - capteur
- 10. capteur à injection
- 11 - meule
- 12 - chariot porte - meule
- 13 - ressort
- 14 - corps du capteur avec contact
- 15 - comparateur
- 16 - réglage du contact électrique
- 17 - deux lampes témoins
- 18 - touche de mesure.

# Legende du schema du systeme de controle

- 1. Touche inferieure.
- 2 - piece
- 3 - ce de controle
- 4 - touche intermediaire
- 5 - barre de fixation
- 6 - écrou
- 7 - ressort
- 8 - AXE
- 9 - porte - capteur
- 10. capteur à injection
- 11 - meule
- 12 - chariot porte - meule
- 13 - ressort
- 14 - corps du capteur avec contact
- 15 - comparateur
- 16 - réglage du contact électrique
- 17 - deux lampes témoins
- 18 - touche de mesure.

# CH 7 ANALYSE DES ERREURS

## VII. 1. Erreur de non linéarité

Au voisinage de  $z_{min}$  et  $z_{max}$  il existe un certain écart entre la caractéristique  $b = f(z)$  et la droite représentative de la sensibilité dans le diapason de mesure, cet écart est appelé "écart de non linéarité", il est maximum au niveau de  $z_{min}$  et  $z_{max}$  et diminue en se rapprochant de  $z_m$  où il est nulle; il est défini par:

$$\delta_z = \frac{\Delta_e z}{\Delta z}$$

max  $z_{max}$  théorique.

$$\Delta z = 4 \mu m \text{ (fig 6.1)}$$

$$\Delta z = 80 \mu m$$

donc

$$\delta_z = \frac{4}{80} = 5\%$$

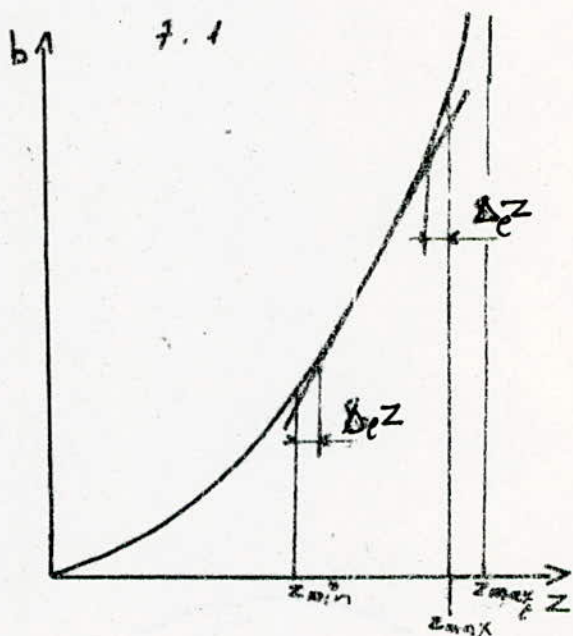


fig 7.1

## VII. 2 Erreur due à la forme de la pièce

En prenant la surface d'écoulement égale à  $2\pi r z$  on comit une erreur  $\Delta S$  du à la forme cylindrique de la pièce; alors la surface totale d'écoulement est donnée par:

$$S = 2\pi r z + \Delta S$$

7.2



L'équation du cylindre est

$$x^2 + z^2 = R^2 \quad 7.3$$

Pour le demi-cercle supérieur on a

$$z = \sqrt{R^2 - x^2}$$

soit  $u = R - z$

$$u = R - \sqrt{R^2 - x^2}$$

un élément de la surface latérale comprise entre le cylindre et le disque qui lui est tangent est

$$ds = dl \cdot du$$

avec  $dl = r d\theta$

et  $du = \frac{x}{\sqrt{R^2 - x^2}} dx$

L'erreur sur la surface est donnée par

$$\Delta S = 4r \int_{-\frac{\pi}{2}}^0 \left[ \int_0^{r \cos \theta} \frac{x}{\sqrt{R^2 - x^2}} dx \right] d\theta \quad 7.4$$

après intégration de cet expression on trouve

$$\Delta S = \frac{\pi}{2} \frac{r^3}{R} \quad 7.5$$

donc

$$S = 2\pi r z + \frac{\pi}{2} \frac{r^3}{R} \quad 7.6$$

L'erreur relative sur la surface est.

$$\varepsilon = \frac{\Delta S}{S} = \frac{\frac{\pi}{2} \frac{r^3}{R}}{2\pi r z + \frac{\pi}{2} \frac{r^3}{R}} \quad 7.7$$

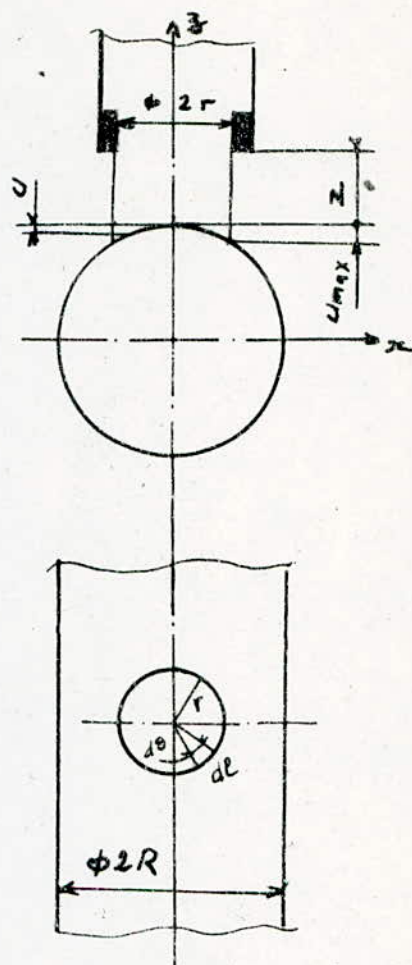


Fig. 7.2

Dans notre cas on a

$$r = 1.25$$

$$R = 25 \quad (\text{cas le plus défavorable})$$

$$z = z_m = 0,348 \quad (\text{à la fin de l'opération})$$

on trouve  $\epsilon = 4,2 \%$ .

L'erreur augmente avec la diminution du diamètre de la pièce.

### VII.3 Erreur de positionnement

Après le réglage du système à l'aide d'une pièce étalon les touches inférieure et intermédiaire restent fixes.

Le surépaisseur qui accompagne les pièces à rectifier les empêche à épouser la même place du cylindre étalon, alors les axes de la pièce se trouvent décalés d'une valeur égale à la moitié du surépaisseur.

Au cours de l'usinage le surépaisseur diminue et le centre de la pièce s'approche de la position "théorique" sur une droite inclinée de  $45^\circ$  par rapport à l'axe du capteur.

soit  $\delta_d$  le surépaisseur sur le diamètre

$e$  : excentricité

on a à tout moment

$$e = \frac{\delta_d}{2} \quad 7.8$$

d'après la fig 7.3 on trouve les relations suivantes

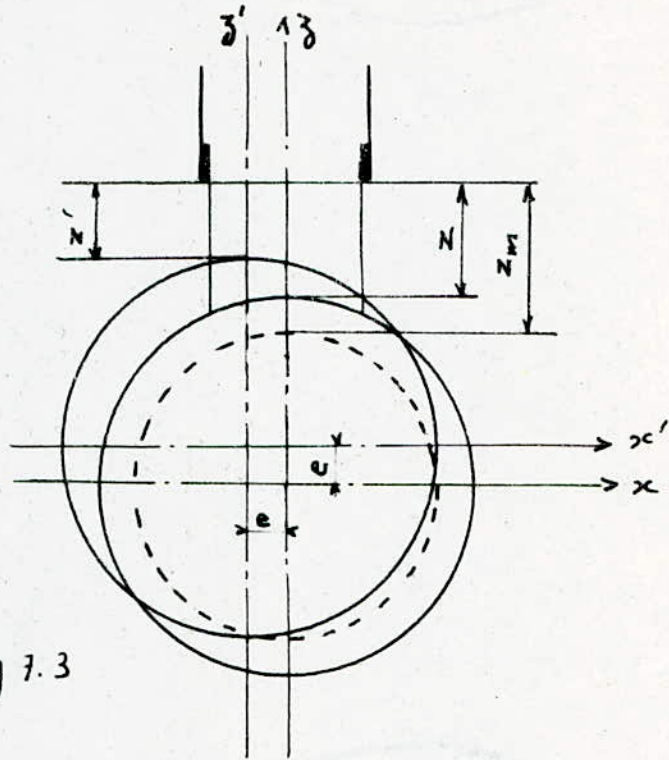


fig 7.3

$$z' = z_m - 2e \quad 7.9$$

$$z = z_m - e \quad 7.10$$

Le surépaisseur sur le diamètre est limité par deux facteurs:

a. La position du capteur (autrement dit la valeur de  $z_m$ ), les pièces avec un surépaisseur trop grand n'entre pas entre le gicleur et la touche inférieure; cette condition est traduite par :

$$z' \geq 0 \quad 7.11$$

d'après 7.9 on trouve

$$e \leq \frac{z_m}{2} \quad 7.12$$

avec  $z_m = 0,348$  on a  $e \leq 0,174$

Le surépaisseur sur le diamètre doit être au plus égal à :

$$2e = 0,348 \text{ mm}$$



2) L'indication du comparateur est fonction de la surface latérale entre le gicleur et la pièce. Au cours de l'usinage cette surface augmente jusqu'à arriver à une valeur limite définie par  $z_m$ .

Avec la position de la pièce décalée il ya un risque d'atteindre cette surface avant d'avoir le diamètre désiré si l'excentricité  $e$  (ou le surépaisseur) est trop élevée; donc une étude est nécessaire pour limiter sa valeur.

On procédant de la même manière que dans VII.2 mais avec le changement de repère suivant :

$$x' = x + e$$

7.13

$$z' = z - e$$

on trouve

$$\Delta s' = 2\pi r \sqrt{R^2 - (r+e)^2} - 2\pi r \left( 1 - \frac{1}{4} \frac{r^2}{R^2} - \frac{e^2}{2R^2} \right) \quad 7.14$$

$s'$  étant la surface latérale dans la position réelle qui est donnée par :

$$s' = 2\pi r (z_m - 2e) + \Delta s' \quad 7.15$$

La surface théorique est donnée par

$$s = 2\pi r (z_m - e) + \frac{\pi}{2} \frac{r^3}{R} \quad 7.16$$

La section  $s$  à la fin de l'opération qui correspond à la position zéro de l'aiguille du comparateur est donnée

avec  $r = 1,25$

$$z_m = 0,348$$

R = 25

et e = 0

par.  $s_f = 2,856 \text{ mm}^2$

A tout moment il faut que s' soit inferieure a s<sub>f</sub>.

donc

$2\pi r(z_m - z_r) + 2\pi r \sqrt{R^2 - (r+e)^2} - 2\pi r \left(1 - \frac{1}{4} \frac{r^2}{R^2} - \frac{e^2}{2R}\right) \leq s_f \quad 7.17$

on resolvant cet inegalitee iterativement par rapport a e, on trouve

$e \leq 0,372$

donc le sur epaisseur  $\delta_s$  doit etre inferieur a

$2e = 0,744 \text{ mm}$

Comme  $\delta_s$  est inferieur a 0,348 d'apres la premiere condition l'aiguille ne risque pas d'atteindre la position zero avant d'avoir le diametre desire.

Un autre probleme se pose a la fin de l'operation du fait qu'on a toujours un sur epaisseur inferieur a l'inter valle de tolerance qui reste; alors il existe toujours une exentricite'  $e_f$  qui cause des erreurs.

$e_f \leq \frac{IT}{2} \quad 7.18$

En prenant l'inter valle de tolerance pour le casle plus cle favorable (D = 100) on peut connaitre  $e_f$  a la limite

$IT = 54 \mu m \quad (\text{qualite' } 8)$

donc

$e_{fe} = 0,027 \text{ mm}$

à cet excentricité correspond une erreur sur la surface d'écoulement

$$\varepsilon = \frac{s - s'}{s} = 8,32 \%$$

#### VII.4 Erreur de pénétration

Le changement de diamètre de la pièce au cours de l'usinage est discrète. La pénétration  $t$  est effectuée à chaque inversion de la table ; en conséquence le changement de diamètre est de  $2t$ .

Quand le diamètre désiré est atteint, deux possibilités peut surgir

a) L'aiguille arrive à la position zéro et la machine s'arrête.

b) L'aiguille n'arrive pas à cette position à cause des erreurs

Dans le cas b) le diamètre de la pièce va diminuer encore de  $2t$  ce qui provoque une erreur égale à  $2t$ .

La valeur minimale de pénétration  $t$  est de  $2,5$  à  $4 \mu\text{m}$ , par conséquent l'erreur est de  $5$  à  $8 \mu\text{m}$ .



## CH8 CONCLUSION

Malgré que la métrologie électronique est actuellement la plus utilisée surtout dans les laboratoires, la métrologie pneumatique reste toujours une solution efficace pour résoudre d'une façon simple et à l'aide d'appareil extrêmement robuste la plus part des problèmes posés par le contrôle d'usinage dans l'industrie.

Cet étude nous a permis de mettre en évidence l'aptitude du système Etamic - capteur à injection pour le contrôle précis du fait que sa caractéristique présente une double sensibilité; ainsi que la possibilité de l'adapter pour le contrôle industriel sur machine.

L'analyse des erreurs permet d'affirmer que la solution du contrôle avec contact s'adapte mieux pour les pièces cylindriques vu que cette forme des pièces influe largement sur la surface latérale d'écoulement dans la deuxième solution.

Vu les moyens disponibles à l'atelier de mécanique il n'était pas possible d'assurer la précision des constructions exigée par ce système et de compléter la réalisation à 100%. Il est souhaitable que la partie automatique du système (partie non réalisée) se réalisera par des élèves ingénieurs aux cours des semestres à venir; ainsi le département de méca-

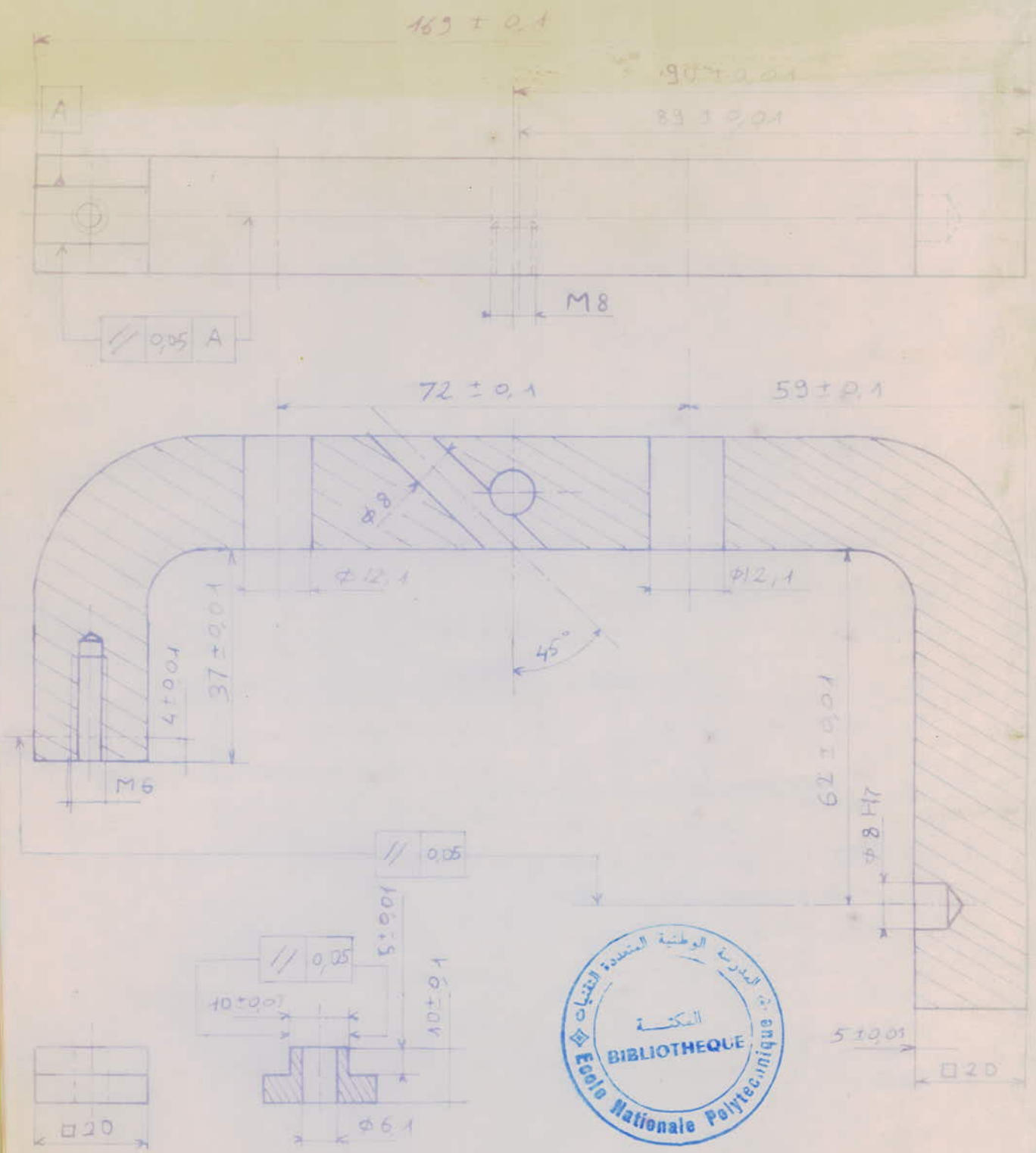
nique se dotera d'un système de contrôle automatique.

Une réalisation industrielle de ce système est possible et permet aux unités de production mécanique d'élever leur production du fait que le nombre des pièces loupées diminue, ainsi que le nombre de contrôleurs.

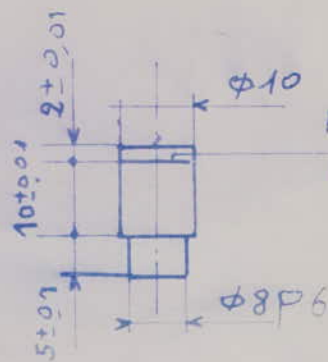
## BIBLIOGRAPHIE

- 1 - M. Bouaziz  
Etude des systèmes pneumatiques de contrôle  
à compensation et injection  
Mémoire de Magistère oct 82
- 2 - B. Necib  
Système de contrôle automatique appliqué sur rectifieuse  
projet de fin d'étude Juin 80
- 3 - P.J. Fort  
Automatisation des machines-outil  
Foucher-Paris 70
- 4 - A. chevalier  
Guide de dessinateur industrielle  
ET-Paris 81
- 5 - SIT  
Notice d'entretien : machine u700  
revue
- 6 - Technique de L'ingénieur  
Mesure et contrôle t.1 Paris 61
- 7 - A.L. Toussanchau et A BRU  
Eléments de construction mécanique  
Dunod-Paris 1971
- 8 - Encyclopedie des sciences industrielles  
Mécanique - généralité - application  
Quillet - Paris 1974





<b>ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE</b>			
Echelle	Masse	□ ⊕	Cé PNEUMATIQUE
1-1			
Etudiant	Hecini	HA	ENP Dép. MECANIQUE
Promoteur	Bouaziz		
			E23-45-M
			SCP1

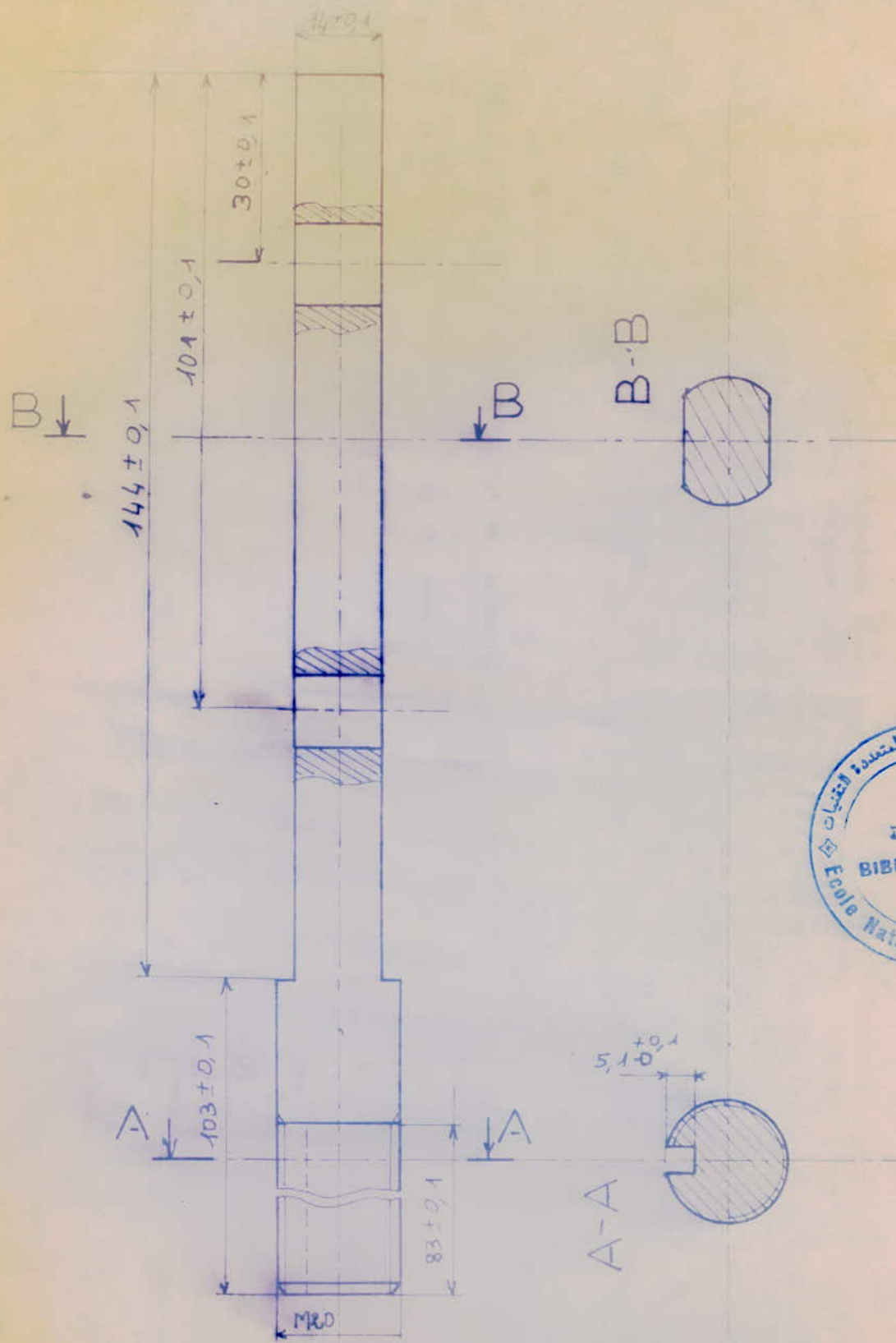


Plaque en carbure métallique  
brusée (ép. = 2)



# ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

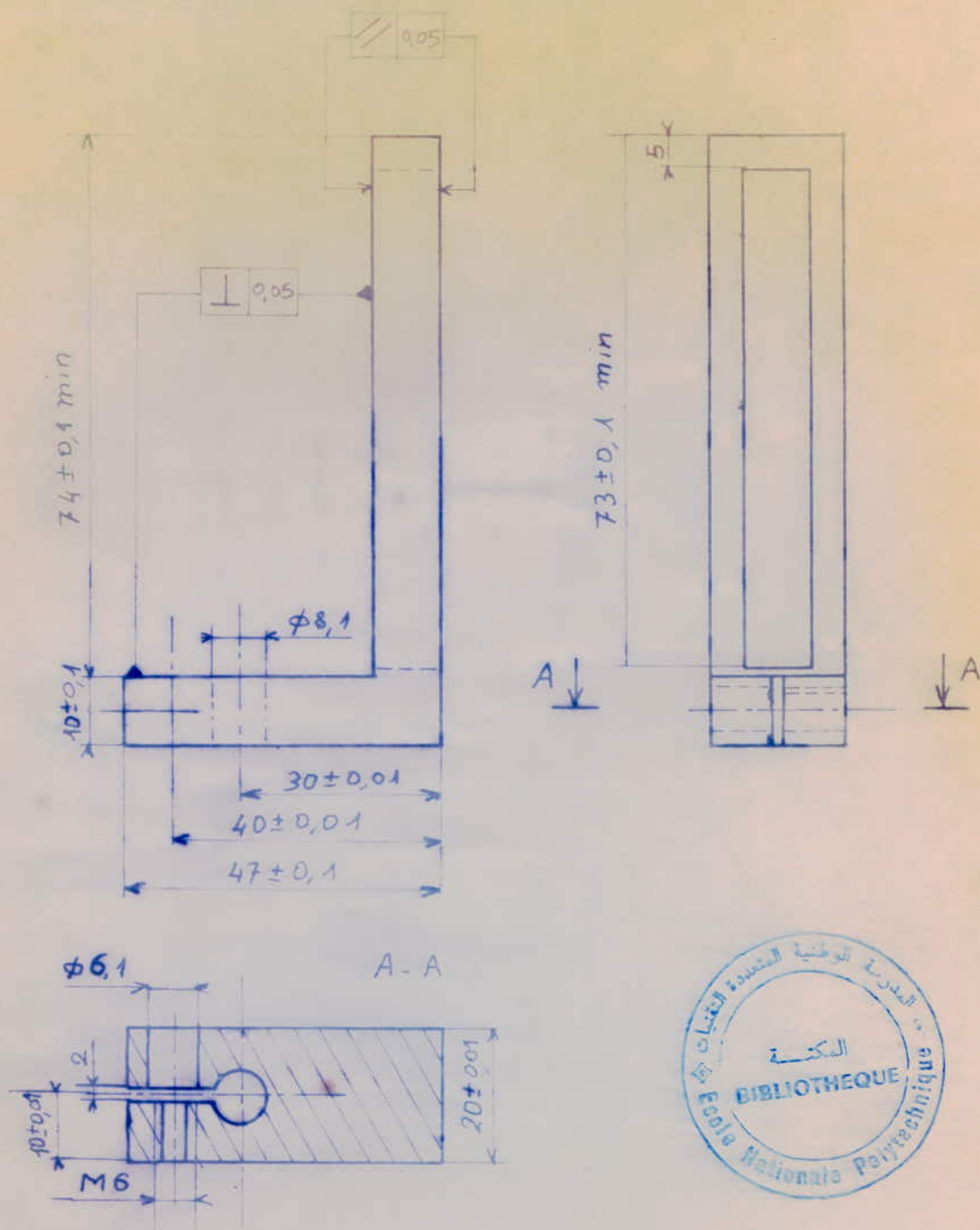
Echelle	Masse		TOUCHE INFERIEURE	ENP Dép. MECANIQUE
1:1				
Etudiant	Hecini		E24	SCP2
Promoteur	Bouaziz			



# ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

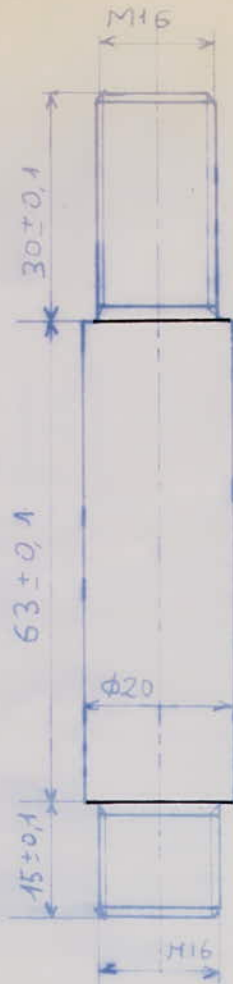
Echelle	Masse		AXE	ENP DÉP. MECANIQUE
1:1				
Etudiant	Heini		E24	SCP3
Promoteur	Bouaziz			





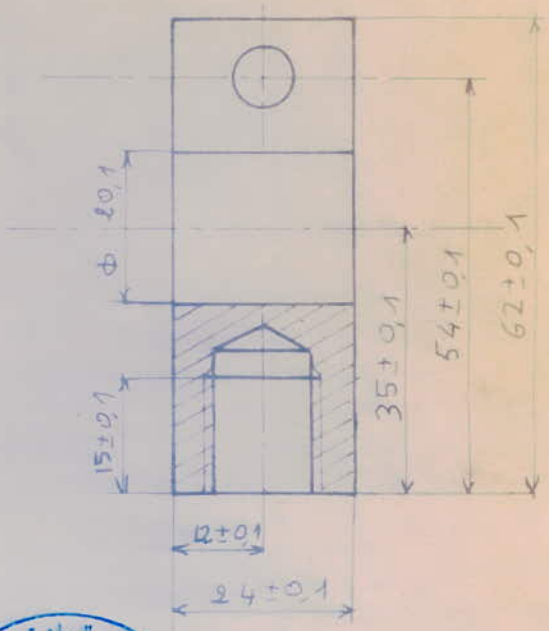
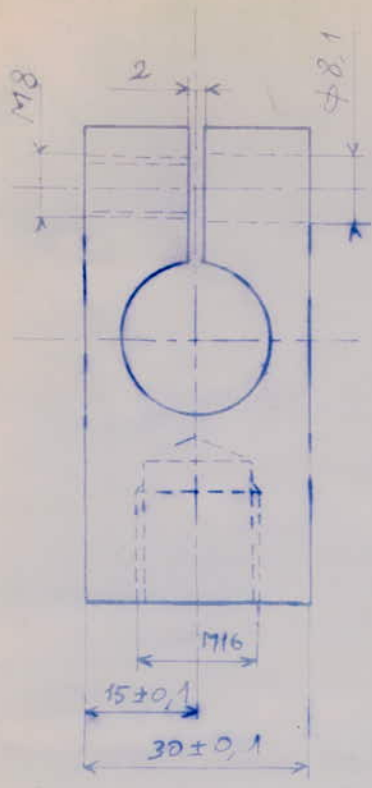
# ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

Echelle	Masse		PORTE - CAPTEUR	ENP Dép. MECANIQUE
1:1				
Etudiant	Hecini <i>HY</i>		E24	SCP4
Promoteur	Bouaziz			



# ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

Echelle	Masse		AXE	ENP Dép. MECANIQUE
1:1				
Etudiant	Hecini		E24	SCP5
Promoteur	Bouaziz			



# ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

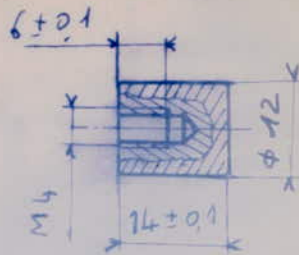
Echelle	Masse		PINCE	ENP Dép. MECANIQUE
1:1				
Etudiant	Hecini		E24	SCP6
Promoteur	Bouaziz			



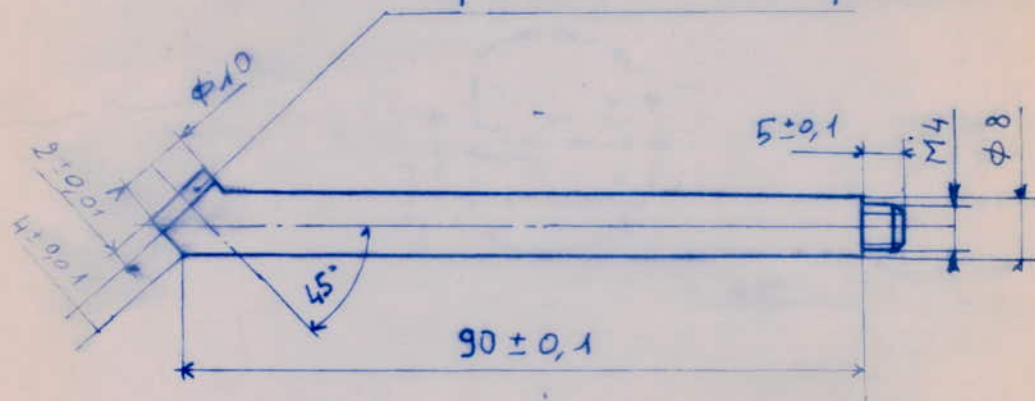


# ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

Echelle	Masse		BARRE	ENP Dép. MECANIQUE
1:1				
Etudiant	Hecini		E24	SCP7
Promoteur	Bouaziz			

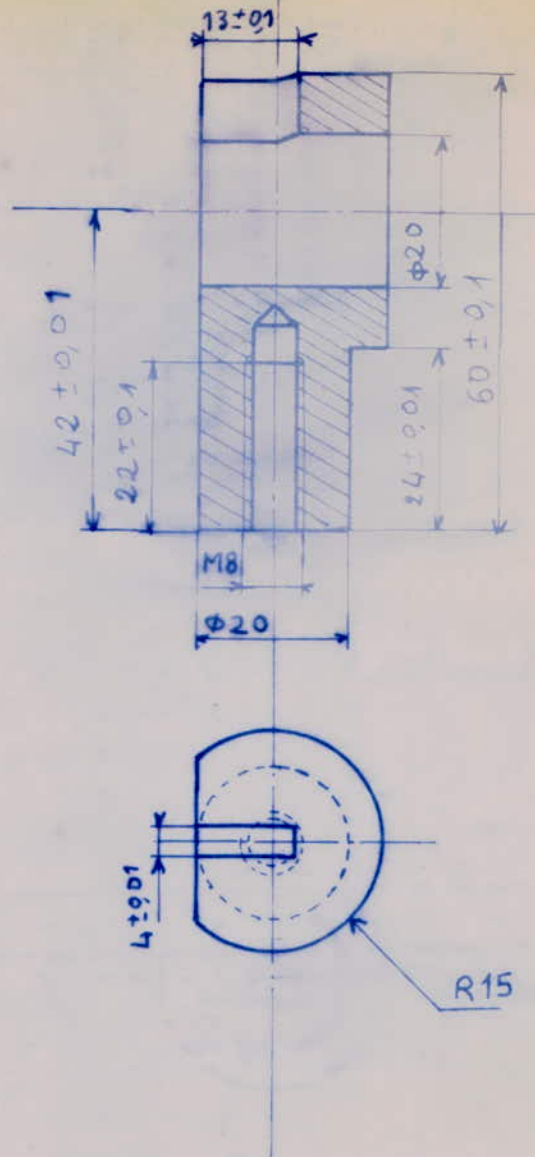


Plaque en carbure métallique brasée (ép. = 2)



# E COLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

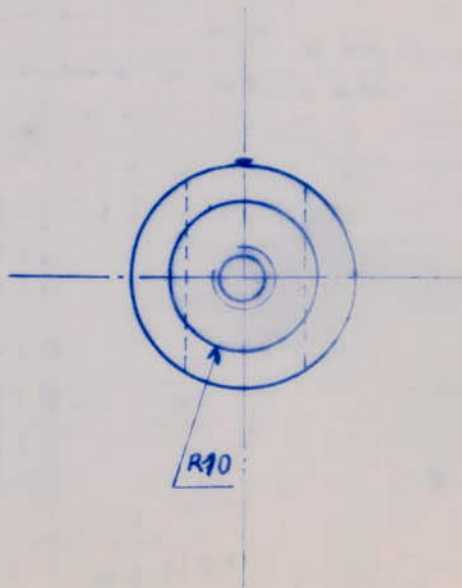
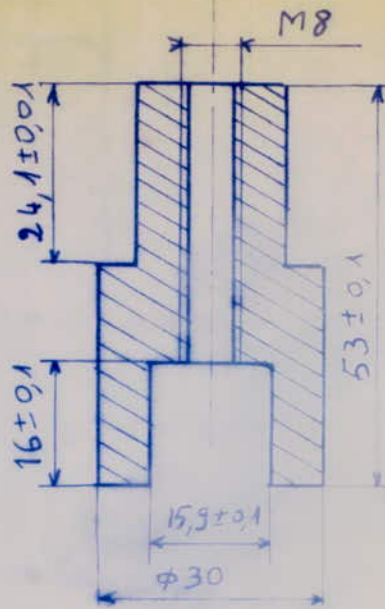
Echelle	Masse		TOUCHE INT-ERMEDIAIRE	ENP
1:1				
Etudiant	Hecini	HY	ERMEDIAIRE	Dép. MECANIQUE
Promoteur	Bouaziz			
			E24	SCP8



# ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

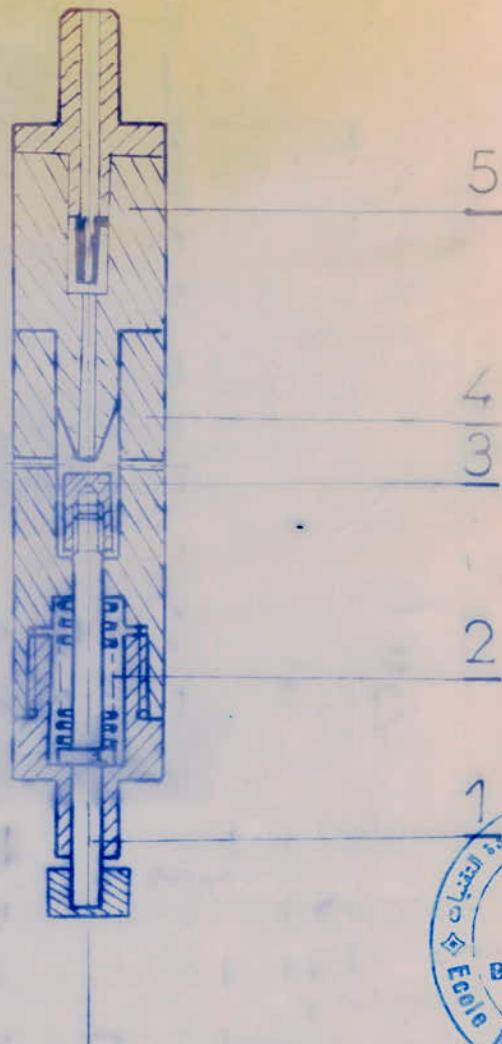
Echelle	Masse		AXE	ENP
1:1				
Etudiant	Hecini	Hy 8.6.87	E24	Dép. MECANIQUE
Promoteur	Bouaziz			
				SCP9





# ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

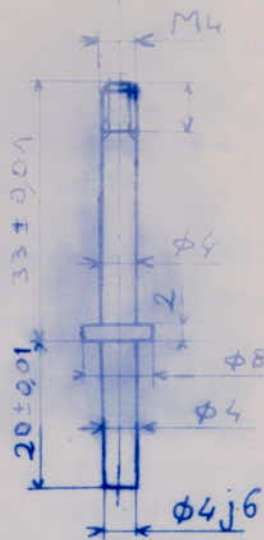
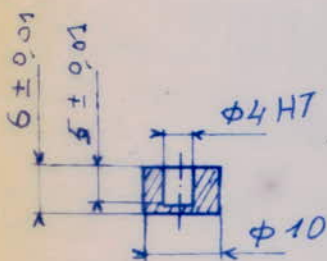
Echelle	Masse		AXE	ENP
1:1				
Etudiant	Hecini	HY 8.238	E24	Dep MECANIQUE
Promoteur	Bouaziz			
				SCP10



5	CC04	Capteur à injection	1		E24	
4	CC04	Corps du capteur	1		U2.15	
3	CC03	Cylindre	1		E24	
2	CC02	Ressort	1			
1	CC01	Tige + Touche	1		E24	
Rp	N° dessin	Designation	Nb	unit total Masse	Mat	Observ.

## ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

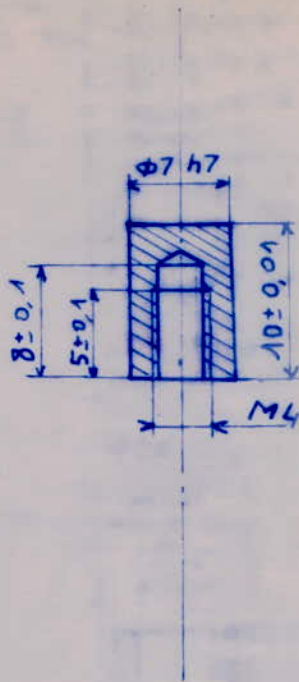
Echelle	Masse	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	CAPTEUR		ENP Dép MECANIQUE SYS002
1:1			AVEC		
Etudiant	Hecini	H <sub>1</sub>	CONTACT		
Promoteur	Bouaziz				



# ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

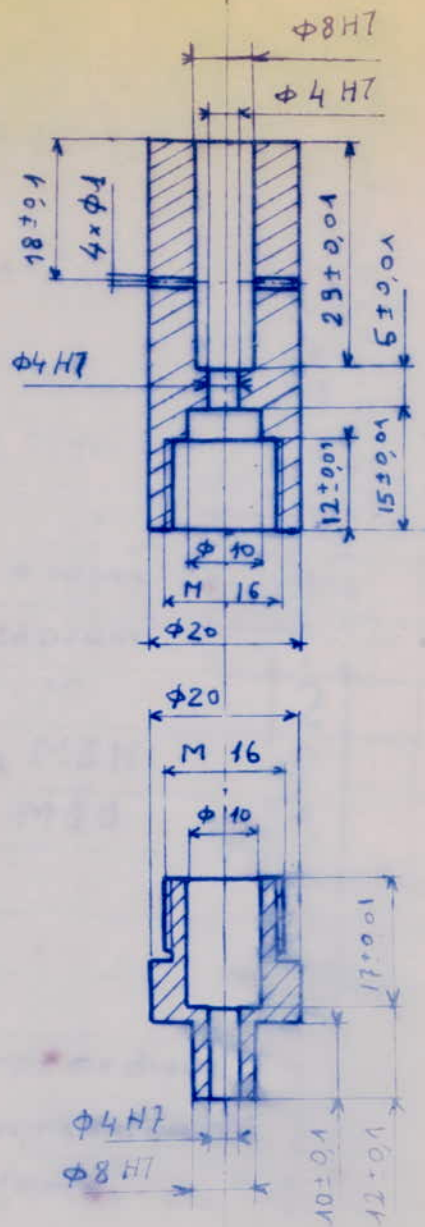
Echelle	Masse			
1:1				
Etudiant	Hecini	H7	8.6.97	TIGE + TOUCHE
Promoteur	Bouaziz			
				E24
				CC01





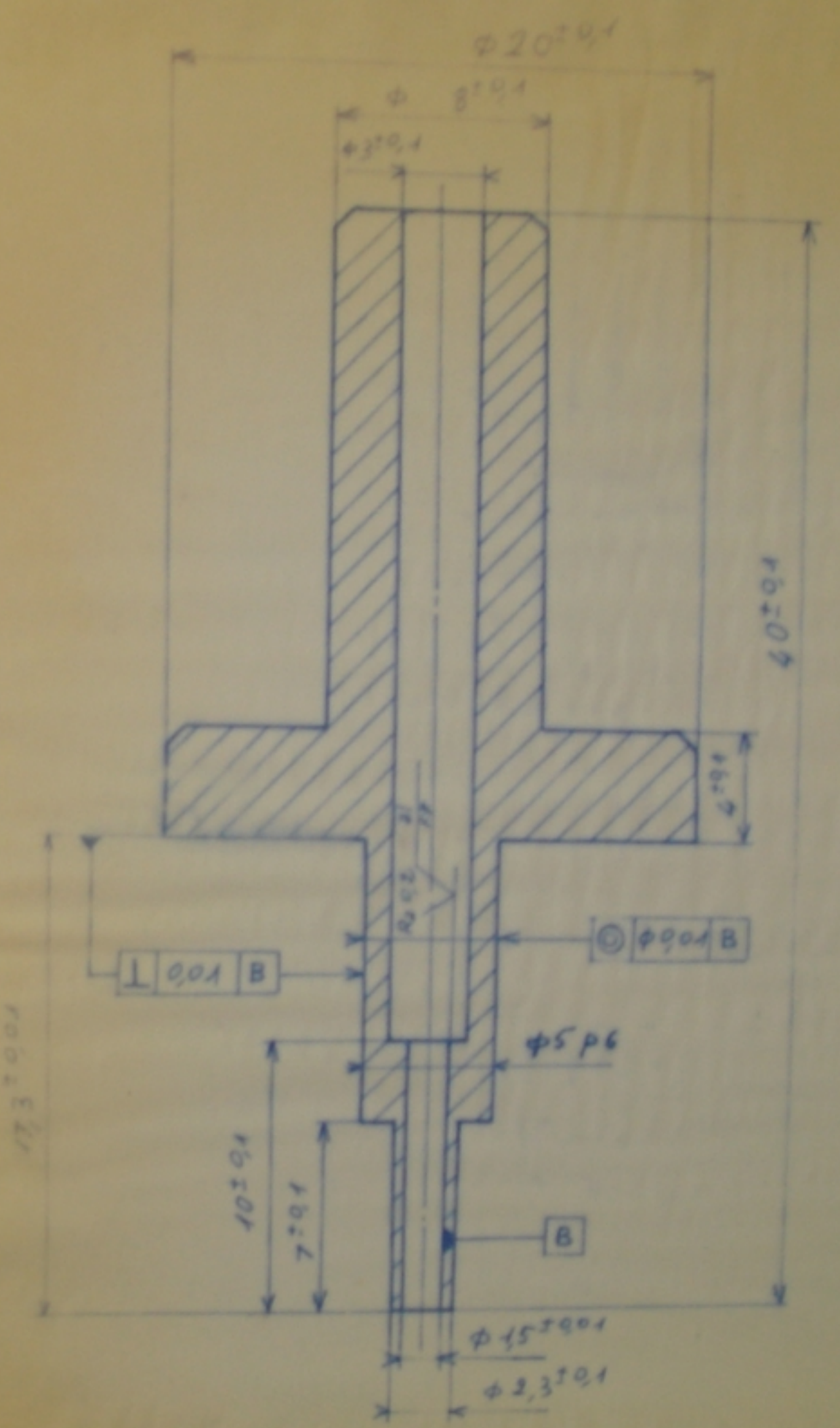
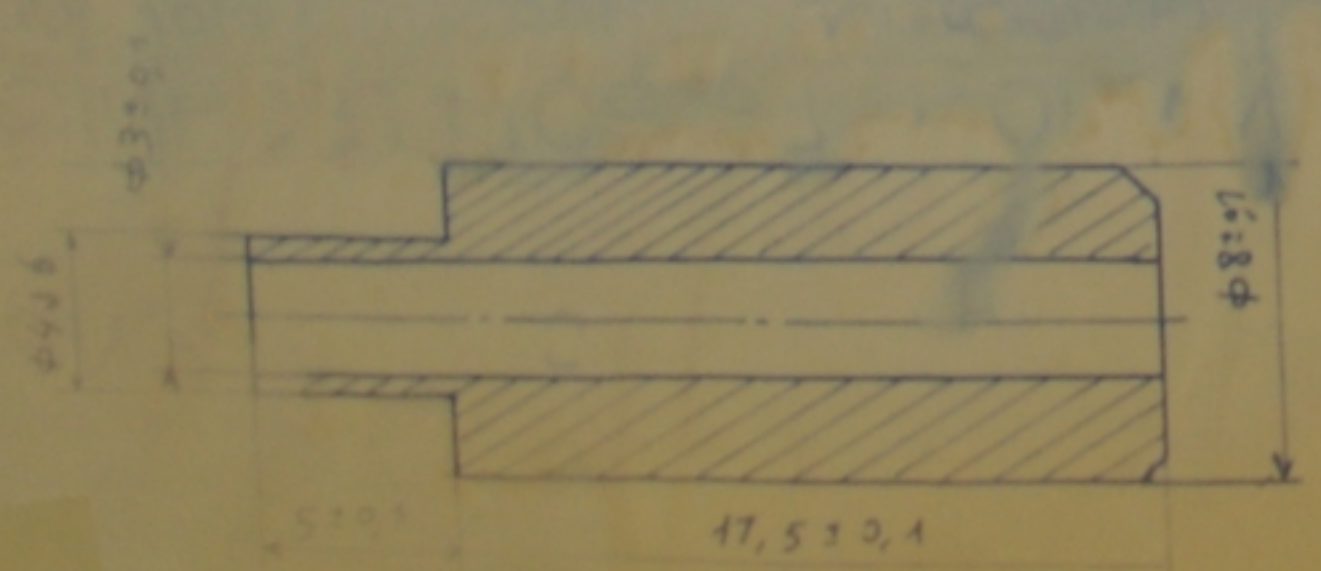
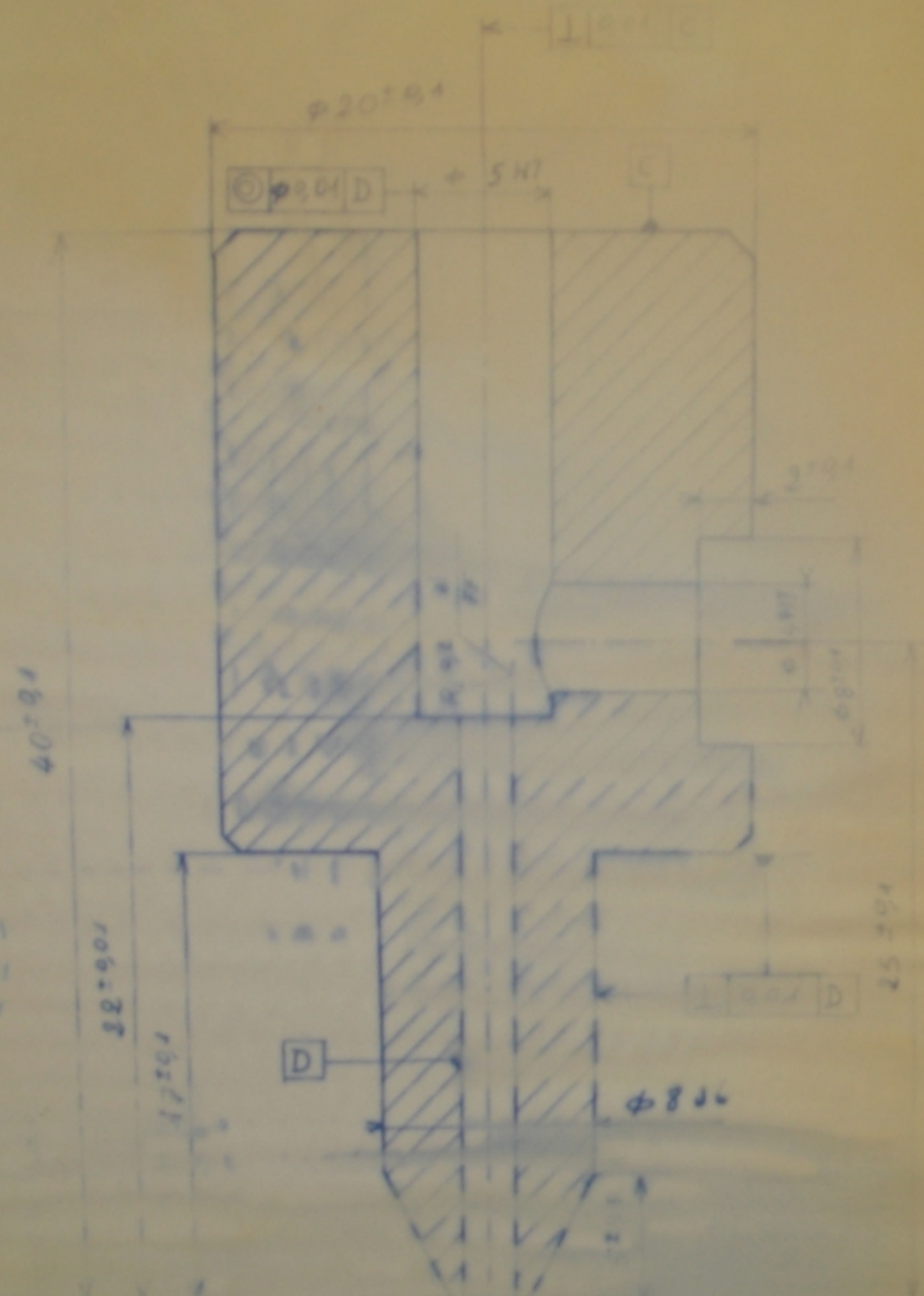
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

Echelle	Masse				
2:1					
Etudiant	Hécini	<i>HY</i>	8.67	CYLINDRE	ENP
Promoteur	Bouaziz				Dép. MECANIQUE
				E24	CC03



ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE					
Echelle	Masse	□ ⊙		CORPS	ENP Dép. MECANIQUE
1:1					
Etudiant	Hecini	Hy	1.8.77	UZ-15	CC04
Promoteur	Bouaziz				





PM05487  
- 1 -



ECOLE NATIONALE PÖLYTECHNIQUE				
Echelle	Masse			Injecteur d'entre
4:1				Injecteur de sortie
Dessine par	M. HECINI		23 127	
Projeteur	Bouazza			
				E24
				ENP Dep. Mecanique SCP11







